



**Escola Tècnica Superior d'Enginyeries
Industrial y Aeronàutica de Terrassa**

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Titulació:

Màster en Enginyeria de Sistemes Automàtics i Electrònica Industrial

Alumne:

Sergi Torregrosa Pagés

Títol del Treball de Fi de Màster:

Estudi per la millora de l'equipament de Laboratori en assaigs de vibració

Director:

Jordi Zaragosa Bertomeu

Convocatòria:

Febrer de 2020

Contingut d'aquest volum:

Memòria

RESUM

En aquest projecte es presenta l'estudi i millora sobre el sistema de vibració del laboratori de CIRCUTOR SA. Es cerca possibles solucions per garantir el compliment de la norma UNE-EN-60068-2-6 que fa referència als assajos de vibració del tipus sinusoïdals. S'expliquen tots els components que conformen el sistema de vibració i també totes les seves característiques tècniques. Es realitza un estudi de cadascun d'ells i es valora l'afectació d'un sobre l'altre segons la seva connexió. El software utilitzat per generar les condicions d'assaig és el DDS-3X25 USB. Finalment, es plantejant diferents opcions amb els recursos que es tenen a l'abast i es duen a terme les modificacions sobre els valors tècnics aplicats a l'assaig. S'han realitzat diferents assajos i es mostren els resultats després de les millores amb taules i gràfiques validant l'objectiu que no és més que el compliment de la norma.

ABSTRACT

This project presents the study and improvement on the vibration system of the CIRCUTOR SA laboratory. Possible solutions are sought to ensure compliance with UNE-EN-60068-2-6, which refers to sinusoidal type vibration tests. It explains all the components that make up the vibration system and also all its technical characteristics. A study of each of them is performed and the affectation of each other is evaluated according to their connection. The software used to generate the test conditions is the DDS-3X25 USB. Finally, different options are posed with the available resources and modifications are made to the technical values applied to the test. Different tests have been performed and the results are displayed after the improvements with tables and graphs, validating the goal that is nothing more than compliance with the standard.

ÍNDIX

1.	INTRODUCCIÓ	8
2.	ANTECEDENTS, OBJECTIUS I ABAST DEL TREBALL	8
2.1	Antecedents del treball	9
2.2	Objectius i abast del treball	9
3.	PLANIFICACIÓ DEL PROJECTE	9
4.	REALITZACIÓ DE L'ASSAIG SEGONS NORMA	12
4.1	Anàlisi de l'assaig a realitzar pel compliment de la norma	12
4.2	Explicació i muntatge del conjunt dels equips	13
1)	Generador de funcions arbitràries DDS-3X25 (HANTEK):	13
2)	Amplificador Type BAA120 (TIRA):	16
3)	Shaker TIRA vib:.....	17
4) 5)	Condicionador de senyal alimentat per bateries per al sensor ICP (PCB) :	18
6)	Hydra III 2638A adquisició de dades (FLUKE)	19
7)	Bufador refrigeració TB 0080 + Silenciador TB 0080	21
4.3	Simulació de l'assaig amb un equip qualsevol, anàlisi de resultats i comparació amb la petició de la norma.....	24
(2)	28
5.	ESTUDI I CERCA DE POSSIBLES SOLUCIONS A LA DESVIACIÓ	32
6.	TRIA DE LA SOLUCIÓ MÉS ADEQUADA PER AQUEST SISTEMA	36
7.	ANALISIS DELS RESULTATS OBTINGUTS	42
8.	PRESSUPOST	44
9.	CONCLUSIONS.....	45
10.	BIBLIOGRAFIA	46
11.	ANNEXES	47
	ANNEXE I	47
	48
	ANNEXE II	49
	ANNEXE III	53
	ANNEXE IV	54
	ANNEXE V	55
	ANNEXE VI	56
	ANNEXE VII	60

ÍNDIX DE FIGURES

<i>Figura 3.1 Planificació del projecte (GANTT).....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 4.1 Taula C.2 de la norma UNE-EN-60068-2-6.....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 4.2.1 Generador de funcions arbitràries (Hantek).....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 4.2.2 Connector COUNT IN del generador de funcions arbitràries (HANTEK).....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 4.2.3 Visualització del software DDS-3X25 USB.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 4.2.4 Visualització de la part del control del software DDS-3X25 USB.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 4.2.5 Amplificador BAA120 (Tira).....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 4.2.6 Visualització part posterior Amplificador BAA120 (Tira).....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 4.2.7 Excitador de vibració (TIRA Vib).....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 4.2.8 Sensor ICP i condicionador de senyal.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 4.2.9 Codi de colors monitor condicionador de senyal.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 4.2.10 Adquisició de dades FLUKE Hydra III 2638A.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 4.2.11 Parts del FLUKE Hydra III 2638A.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 4.2.12 Mòdul entrades universal FLUKE Hydra III 2638A.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 4.2.13 Bufador de refrigeració TB 0080.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 4.2.14 Silenciador TB 0080.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 4.2.15 Equip de refrigeració del Shaker.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 4.2.16 Connexionat de tots els equips del sistema de vibració.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 4.3.1 Muntatge de l'equip en un dels eixos VERTICAL.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 4.3.2 Muntatge de l'equip en un dels eixos HORITZONTAL.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 4.3.3 Muntatge de l'equip en un dels eixos FRONTAL.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 4.3.4 Sistema de vibració del laboratori abans de l'assaig.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 4.3.5 Gràfica de la força aplicada durant l'assaig.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 4.3.6 Càlcul del desplaçament en una ona sinusoidal mitjançant l'acceleració.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 4.3.7 Gràfica d'un moviment teòric esmorteït.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 4.3.8 Gràfica dels resultats de desplaçament després de l'assaig.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 4.3.9 Gràfica ampliada dels resultats de desplaçament després de l'assaig.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 5.1 Sortida del generador de funcions arbitràries amb un oscil·loscopi.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 5.2 Esquema general d'un controlador PID.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 5.3 Connectors posteriors de l'amplificador BAA120.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 5.4 Imatge detalla de la fixació del sensor (cinta de doble cara amb velcro).....</i>	<i>35</i>

<i>Figura 5.5 Monitor del convertidor de senyal.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 6.1 Gràfica dels resultats de desplaçament després de l'assaig.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 6.2 Gràfica ampliada dels resultats de desplaçament després de l'assaig.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 6.4 Gràfica de la força aplicada durant l'assaig.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 6.5 Gràfica dels resultats de desplaçament després de l'assaig.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 6.6 Gràfica ampliada dels resultats de desplaçament després de l'assaig.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 7.1 Gràfica de barres dels valors del desplaçament inicials i després de modificació del sensor.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 7.2 Gràfica de barres dels valors del desplaçament inicials, després de modificació del sensor i reducció de l'acceleració.....</i>	<i>43</i>

ÍNDEX DE TAULES

<i>Taula 1. Valors reals del desplaçament després de l'assaig.....</i>	<i>29</i>
<i>Taula 2. Valors dels límits teòrics per norma del desplaçament.....</i>	<i>29</i>
<i>Taula 3. Resultats dels valors de desplaçament de l'assaig segon la norma.....</i>	<i>32</i>
<i>Taula 4. Resultats dels valors de desplaçament de l'assaig segon la norma.....</i>	<i>38</i>
<i>Taula 5. Valors reals del desplaçament després de l'assaig.....</i>	<i>39</i>
<i>Taula 6. Valors dels límits teòrics per norma del desplaçament.....</i>	<i>40</i>
<i>Taula 7. Resultats dels valors de desplaçament de l'assaig segon la norma.....</i>	<i>42</i>
<i>Taula 8. Resultats dels valors de desplaçament de l'assaig segon la norma.....</i>	<i>43</i>
<i>Taula 9. Pressupost del projecte.....</i>	<i>44</i>

1. INTRODUCCIÓ

El propòsit de l'empresa CIRCUTOR SA és buscar treure equips al mercat amb la finalitat d'una millora en l'eficiència energètica. Esta dotada per més de 40 anys d'experiència en el sector i això fa que es vegi reflectit en els seus productes amb característiques com la fiabilitat, robustesa i innovació. És una empresa que està arreu del món aportant més de 3000 productes al mercat. També, està dotada de tecnologia pròpia gràcies a l'ampli departament de I+D+i format per més de 60 enginyers que estan dissenyant i innovant amb nous productes segons la demanda del mercat. Un altre departament important de l'empresa és el Laboratori, que és on realitzen tots els assajos necessaris als nous productes abans de treure'ls al mercat per poder donar garanties que són competents i innovadors.

Cal destacar, que una part del Laboratori, fent referència als diferents tipus d'assajos, està acreditada per ENAC i això comporta molt de prestigi a l'empresa. Però, també cal dir que alguns dels assajos que es realitzen, no estan acreditats i són validacions internes de l'empresa sobre el seu producte. En aquest projecte es realitzarà un estudi dels assajos de vibració segons la normativa UNE-EN 60068-2-6, Assaig Fc: Vibració (sinusoïdal). També hi ha una altre norma que parla sobre assajos de vibració aleatòria de banda d'ample i guia, UNE-EN 60068-2-64, però en aquest projecte es centrarà en la primera norma, que s'ha citat ja que és la que s'utilitza actualment a l'empresa.

El propòsit de l'aplicació d'aquesta norma, es determinar qualsevol debilitat mecànica i/o degradació en el comportament especificat dels equips y utilitzar aquesta informació, junt amb l'especificació particular, per decidir sobre l'acceptabilitat d'aquests. En alguns casos, el mètode d'assaig es pot utilitzar també per demostrar la robustesa mecànica dels equips.

Alhora de realitzar tots els passos que determina la norma, que es troben explicats en l'apartat 3, s'ha trobat un error de la força aplicada segons la freqüència determinada en aquest punt. És a dir, a freqüències altes al vibrar amb una velocitat més alta la força G aplicada, que es registra a través d'un aparell que es veurà més endavant, hauria de ser més baixa i en canvi, s'ha vist que no és així. Per això s'inicialitza un estudi per poder millorar aquest comportament i així validar que s'està aplicant correctament la normativa.

2. ANTECEDENTS, OBJECTIUS I ABAST DEL TREBALL

El problema comentat en l'apartat anterior, s'ha trobat no fa gaire temps ja que el conjunt de tots els components s'han adquirit fa poc temps, aproximadament uns 2 anys. Anteriorment, no s'ha analitzat d'on prové aquest possible error, ja que no tenia un ús habitual, però en l'actualitat té un ús pràcticament diari ja que aporta molta informació sobre el producte. Per això que, se li ha comentat al proveïdor del producte sobre aquest possible error de valors vistos al realitzar l'assaig. La solució que els hi a comentat a l'empresa és la millora del software i això implica un cost aproximat d'uns 6000-7000€, que CIRCUTOR no es vol fer càrrec.

A causa d'aquest cost tan elevat per poder millorar el software que s'utilitza pels assajos de vibració, s'ha plantejat realitzar un estudi profund de tots els components del sistema de vibració i de tots els punts destacables de la norma, i intentar cerca una solució o una possible

millora dels resultats per garantir una bona aplicació de la norma. Per tant, s'ha plantejat aquest projecte de *l'Estudi per a la millora de l'equipament del laboratori en assaigs de vibració*, per poder plantejar alguna solució o intentar realitzar una millora amb els recursos que es tenen i un cost econòmic molt més baix.

2.1 Antecedents del treball

És clar, que al ser un producte de nova adquisició, sobre 2 anys més o menys, els antecedents no són gaires. I si es té en compte que l'ús que se li ha donat ha sigut vegades comptades, doncs encara menys. Si que s'han realitzat assajos segons la normativa UNE-EN-60068-2-6 per poder anar ajustant l'aplicació de la força. Tot i així, no s'ha aprofundit a realitzar un anàlisi del comportament de cadascun dels equips que formen aquest sistema de vibració.

Anteriorment, només s'ha realitzat una valoració sobre els resultats marcats per la gràfica de força G aplicada durant l'assaig. Si que també s'han tingut alguns contactes amb laboratoris externs per la validació del compliment de la norma, tot i que aquests utilitzen altres sistemes de vibració i per tant possibles solucions o formes d'aplicació no han servit per solucionar els problemes.

2.2 Objectius i abast del treball

Aquest projecte s'ha plantejat a causa de visualitzar un mal comportament del sistema de vibració envers al que es volia implementar. Valorant les característiques que es planteja a la norma que s'aplica en aquest tipus d'assaig, UNE-EN 60068-2-6, i el tipus de producte amb el que l'empresa treballa, s'ha volgut valorar alguna solució per intentar encaixar millor els valors de les forces que s'impliquen en l'assaig.

Per tant, l'objectiu d'aquest projecte es poder trobar una solució aquest comportament erroni del sistema de vibració que es té a l'empresa i si es possible, amb tots els recursos que es tenen a l'abast, intentar implementar-lo.

L'abast d'aquest projecte és poder plantejar una bona solució per poder ajustar els valors imposats a l'assaig dins dels límits permesos i si és possible implementar-la. En el cas que no sigui possible, defensar en fets i plantejant escenaris per poder-lo desenvolupar més endavant. És clar que la implementació d'algunes de les solucions que s'exposen en aquest projecte són complicades ja que necessiten de una implicació de moltes hores de tècnics i apart, una inversió de cost que poder l'empresa no té prevista gastar.

3. PLANIFICACIÓ DEL PROJECTE

El projecte tindrà una duració total de 171 dies, aproximadament. El primer mes es dedicarà a realitzar un estudi sobre el problema detectat a l'hora de realitzar aquest tipus d'assaig. Juntament amb aquest anàlisi es consultarà a la norma implícita i es cercarà possibles solucions per poder ajustar-se a les peticions de la normativa. Totes aquestes tasques es duran a terme entre l'enginyer i el becari que participen al projecte.

Un cop s'ha valorat totes les possibles opcions i es fa tria de la que es pot desenvolupar, segons els recursos que es tenen, i que es creu una bona solució, es comença a desenvolupar. Aquesta activitat tindrà una duració aproximada d'uns 67 dies.

Posteriorment, es realitzaran assajos amb els canvis realitzats al sistema de vibració per poder validar una millora dels resultats i compliment de la norma. Es realitzaran diferents modificacions i es testejaran. Finalment, es realitzarà una comparativa de resultats.

L'escriptura de la memòria serà una tasca que durarà uns 47 dies i es farà per fases. És a dir, un primer esbós i correcció d'aquests es durà a terme sobre els mesos de juliol i agost, on també paral·lelament s'estarà desenvolupant la solució, i tant la memòria final com la presentació del Power Point, tindrà lloc a novembre. Per tant, hi ha molts dies entremig de les dues fases de l'escriptura de la memòria del projecte, així que aquesta tarda no ha de portar cap tipus de retràs en el projecte.

Cal destacar, que el camí crític del projecte, involucra a moltes tasques. El desenvolupament de la solució i el testeig d'aquesta són tasques molt crítiques ja que poden tenir retards si no es coordinen bé i si no es troben solucions o bons resultats.

En tots els projectes, en aquest també, en certes tasques s'ha introduït una duració més extensa del que es pensa que pot durar per poder tenir dies de marge per possibles incerteses que vagin sorgint a l'hora de la realització del projecte.

En la següent imatge, Figura 3.1, es pot visualitzar esquemàticament tot el comentat anteriorment mitjançant un diagrama de GANTT. Si analitzem aquest, es poden visualitzar requadres pintats de blau, que mostren el temps que dura tota la tasca, i altres pintats de verd, que marquen la duració de les subtasques. Es defineixen els dies d'inici i fi de cadascuna de les activitats i també la duració total en dies.

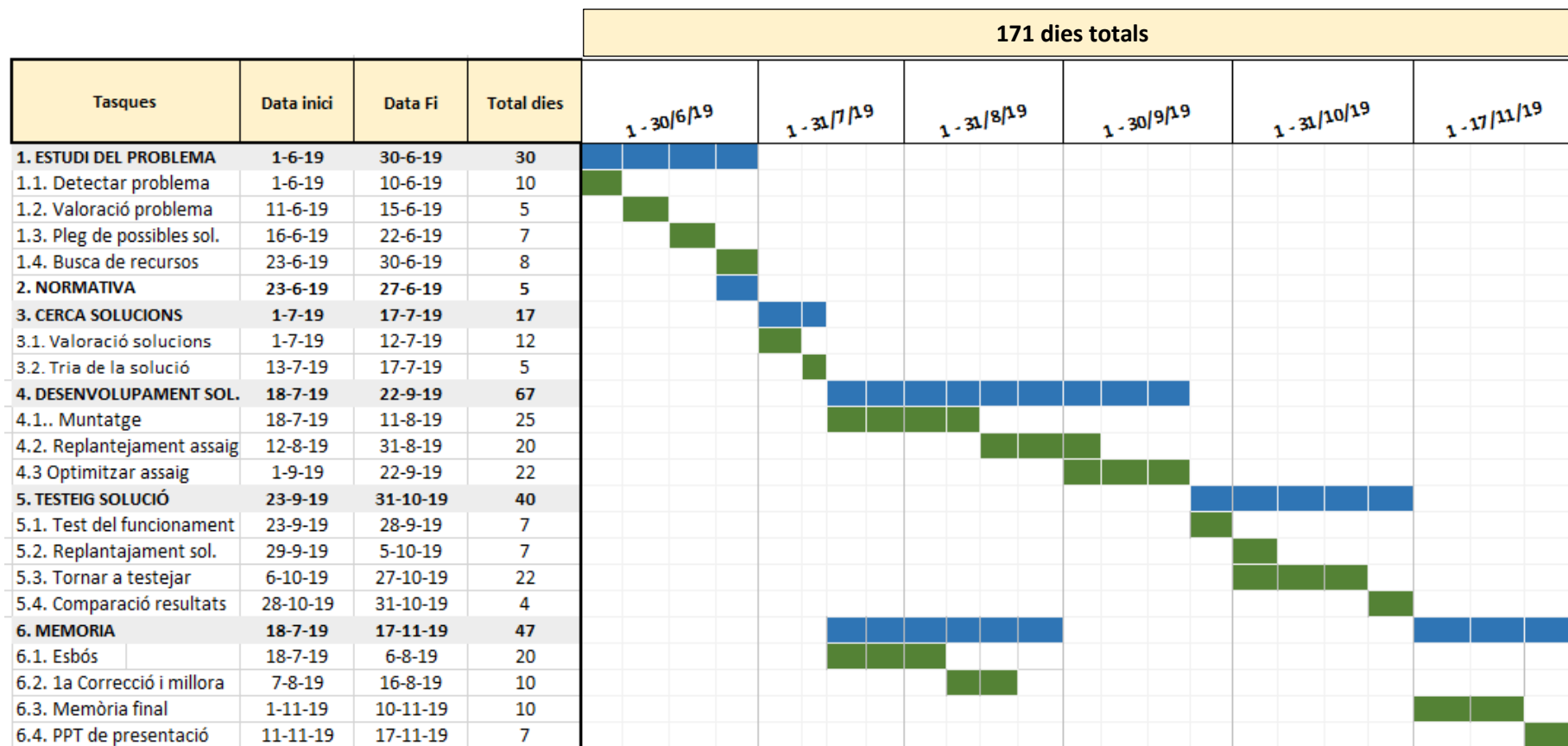


Figura 3.1. Planificació del projecte (GANTT)

4. REALITZACIÓ DE L'ASSAIG SEGONS NORMA

La norma que en aquest cas es fa referència, UNE-EN 60068-2-6, és molt amplia i complexa ja que abasta a molts tipus d'equips i per cada un d'ells s'explica unes característiques per dur a terme l'assaig per aquell equip en concret. Per això que, segons el producte que està venen l'empresa, més o menys destinat a un mateix sector i muntatge, s'ha agafat la norma i s'han definit les característiques que ha de tenir aquest assaig i que queden reflectides en el següent punt, 4.1.

L'última edició d'aquesta norma és la de l'Octubre del 2008, aquesta anul·la i substitueix les edicions anteriors a la norma UNE-EN 60068-2-6-1996 aquesta inclosa.

4.1 Anàlisis de l'assaig a realitzar pel compliment de la norma

En aquest apartat, es farà referència a propòsits i camps d'aplicació de la norma i també en els apartats de característiques tècniques, només s'esmentaran i s'explicaran els que s'apliquen en aquest assaig segons la directiva de l'empresa.

La norma UNE-EN 60068-2-6 proporciona un procediment normalitzat per determinar les aptituds dels equips per suportar severitats especificades de vibració sinusoidal. El propòsit d'aquest tipus d'assaig és poder determinar qualsevol debilitat mecànica o la possibilitat de degradació de les funcionalitats específiques de cada equip i així poder decidir sobre l'acceptació d'aquest producte.

Cal dir que el sistema de vibració complert el conformen, l'amplificador de potencia, el vibrador, l'utilatge d'assaig, el generador de funcions arbitràries, el Fluke Hydra i el propi equip que es sotmès a l'assaig. Totes les característiques i funcionalitats d'aquests equips estan explicades al següent punt, 4.2.

La norma indica dos tipus de moviments que són l'axial/transversal i el rotatiu. En el segon, fa referència a equips molt pesats que no és aquest cas. Per tant, només esmentarem l'apartat 4.1.2.1 de la norma que parla sobre el moviment axial/transversal, ANNEXE I.

Aquest tipus de moviment determina que segons l'especificació particular, la qual a de determinar una amplitud màxima de vibració, no es deu superar en cap cas més del seu 50%. Si l'equip a assajar és molt petit es pot arribar a posar el límit al 25%. Però en el cas que aquest tipus de moviment no presenti cap risc envers el funcionament de l'equip, no cal controlar l'amplitud del moviment de la vibració. En el cas en que es troba aquest projecte, cal dir que els equips no els hi afecta la variació de l'amplitud així que no caldrà tenir en compte aquest punt ja que les condicions acceptació de producte les imposa la pròpia empresa.

Per un altre banda, la tolerància de la senyal de la senyal no s'ha excedir del 5% durant els punts de verificació de l'escombrat freqüencial, a no sé que l'especificació particular demani un valor diferent. Pel que fa la senyal de control en aquests punts fins a una freqüència màxima de 500Hz, pot ser de $\pm 25\%$.

Cal tenir en compte que la endurància aplicada per el cas d'aquest projecte es del $\pm 2\%$ ja que el rang de freqüències en que es treballa son superiors a 50Hz. Un altre punt a tenir en compte durant l'escombrat freqüencial, és que s'ha de donar de forma continuada i la freqüència ha de tenir una variació exponencial en el temps. La velocitat ha de ser d'una octava per minut, en escala logarítmica, o 1 Hz per minut, en una escala lineal, tenint en compte una tolerància del 10%. Tot i això, en el cas de CIRCUTOR fins ara es realitza una velocitat de 10Hz/minut i un escombrat freqüencial de 20 a 120Hz amb una duració total de 90min. Això comporta que es realitza una repetició de 9 a 10 repeticions del cicle. Aquest procés es repeteix per cada un dels tres eixos, x, y, i z.

Aquests valors són extrets de la taula C.2 de la norma, com es pot veure en la següent Figura 4.1.

Tabla C.2 – Endurancia por barrido – Ejemplos con frecuencia de corte alta

Amplitud ¹⁾ Rango de frecuencia Hz	Número de ciclos de barrido en cada eje				Ejemplos de aplicación
	0,15 mm o <u>20 m/s²</u>	0,35 mm o 50 m/s ²	0,75 mm o 100 m/s ²	1,5 mm o 200 m/s ²	
1 a 35 ²⁾	–	100	100	–	Equipos montados cerca de maquinaria rotativa pesada
10 a 55 ²⁾	10 20 100	– 20 –	– – –	– – –	Equipos de grandes plantas de potencia y equipos industriales de uso general
<u>10 a 150</u>	<u>10</u> 20 100	– 20 –	– – –	– – –	Equipos de grandes plantas de potencia y equipos industriales de uso general, cuando se han encontrado que existen componentes de vibración apreciables por encima de 55 Hz
10 a 500	10	10	–	–	Equipos para uso aeronáutico general: los valores más altos corresponde a equipos cerca, pero no dentro, del compartimento del motor
10 a 2 000	–	10	10	– 10	Equipos para aviones de alta velocidad: los valores más altos corresponde a equipos cerca, pero no dentro, del compartimento del motor Compartimento del motor del avión

NOTA Cuando hay más de una amplitud para el rango de frecuencia establecido, se utiliza sólo una.

1) Amplitud de desplazamiento por debajo de la frecuencia de corte y amplitud de aceleración por encima de la frecuencia de corte de 58 Hz a 62 Hz (véase 5.2).

2) Ensayo de amplitud de desplazamiento constante.

Figura 4.1. Taula C.2 de la norma UNE-EN-60068-2-6 [ANNEXE I]

Els valors subratllats en vermell són els que entren dins de les característiques de l'assaig de vibració a realitzar. Els 20m/s² són 2 G de força, el rang freqüencial de 20 a 120Hz i un conjunt de 10 cicles de cada escombrat. Per això, l'empresa va determinar aquests valors esmentats anteriorment com a criteri d'acceptació del producte.

4.2 Explicació i muntatge del conjunt dels equips

En aquest punt, s'explicaran cada un dels equips que s'utilitzen per dur a terme l'assaig sinusoïdal segons la norma. En la figura_2, es pot visualitzar la connexió dels equips de tot el conjunt, però abans cal explicar la funció de cadascun d'aquests.

1) Generador de funcions arbitràries DDS-3X25 (HANTEK):

El generador de forma d'ona arbitrària DDS-3X25, Figura 4.2.1, té un canal de sortida d'ona arbitrària, sortides de 12 bits, sortida de senyal sincronitzada, 1 canal d'entrada de mesurament

del compàs / freqüència, 6 entrades de bits i l'entrada de disparador externa. L'usuari pot editar la forma d'ona de manera arbitrària amb el ratolí o triar les formes d'ona regulars com Sine, Square, Tri-angle, Serra-dent, TTL, White Noise, Gauss Noise, Trapezia, Exponent, AM i FM. Els paràmetres, com l'amplitud, la freqüència i la compensació, també es poden establir.

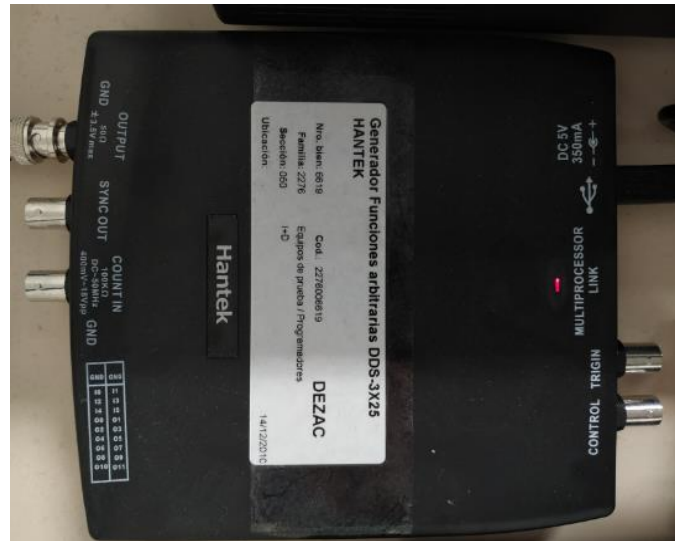


Figura 4.2.1. Figura del generador de funcions arbitràries (Hantek)

Aquest equip es connecta en el COUNT IN, Figura 4.2.2, a l'amplificador BAA120 del sistema de vibració, tal i com es mostra en el connexionat de la Figura 10.



Figura 4.2.2. Connector COUNT IN del generador de funcions arbitràries (Hantek)

DDS-3X25 adopta la tecnologia DDS de manera que ofereix els avantatges d'una alta precisió de freqüència, una resolució d'ona d'alta forma, una alta fiabilitat i un ampli suport de programari. Es pot utilitzar àmpliament en diversos tipus de laboratori d'electrònica i ofereix una interfície completa per al desenvolupament de segona vegada per inserir-se sense sentit en altres sistemes de mesurament automàtic. En la Figura 4.2.3, es pot visualitzar aquesta interfície.

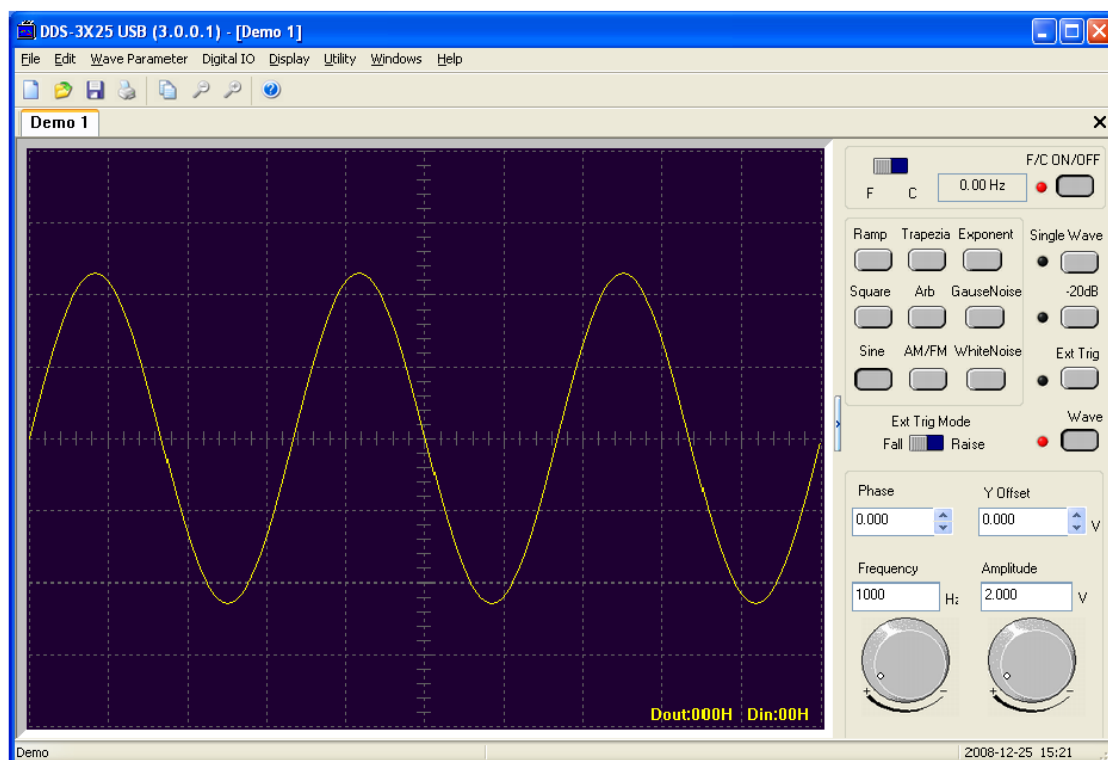


Figura 4.2.3. Visualització del software DDS-3X25 USB

Cal destacar d'aquesta interfície tota la part del control de freqüència, tipus de senyal, amplitud etc. Que es pot visualitzar en la Figura 4.2.4.

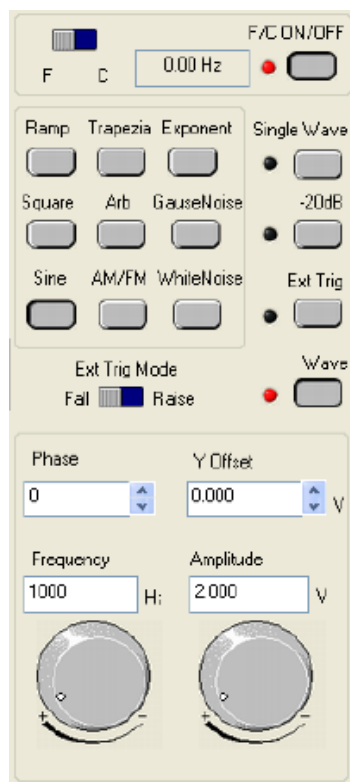


Figura 4.2.4. Visualització de la part del control del software DDS-3X25 USB

Pel que fa les característiques Hardware més importants del generador de funcions arbitràries, es poden veure en el datasheet que es mostra en l' ANNEXE VI.

2) Amplificador Type BAA120 (TIRA):

Aquest amplificador, Figura 4.2.5, controla la potència que ha de subministrar a l'excitador de vibració segons l'ordre que rep del generador de funcions arbitràries. És capaç en DC de treballar fins a freqüències de 20kHz i pot ajustar límits de tensió i corrent per poder limitar tot el sistema de vibració. En quan la potència del Shaker supera la que s'ha programat en l'amplificador, internament salta un interruptor que para la vibració de l'excitador i així evitar possibles averies i sobreescalfaments. La màxima potència que pot subministrar aquest model d'amplificador son 120VA rms, que són 22Vrms i 5,5A rms.



Figura 4.2.5. Figura de l'amplificador BAA120 (Tira)

Pel que fa els seus connectors posteriors, Figura 4.5.6, té una sortida de corrent/voltatge per poder-la monitoritzar, una ranura per si es vol posar una IN/OUT addicional, un altre que serveix per parla directament amb l'excitador de vibració del sistema i finalment una entrada AC/DC on es connecta el generador de funcions arbitràries.

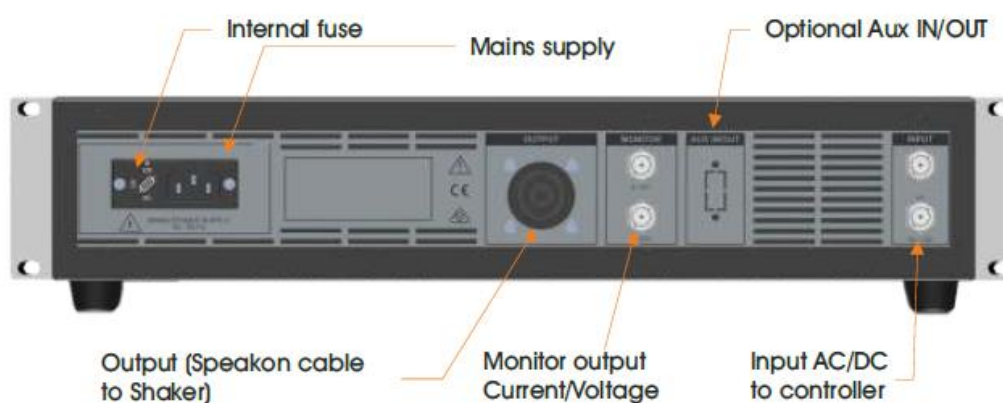


Figura 4.2.6. Visualització part posterior de l'amplificador BAA120 (Tira)

Altres paràmetres tècnics d'aquest amplificador es poden trobar en el datasheet que es troba en l'ANNEXE III d'aquesta memòria.

3) Shaker TIRA vib:

Aquest element és un excitador de vibració, Figura 4.2.7, que es capaç donar fins una força de 200N, en el cas d'ús d'ones sinusoidals. Cal destacar també que té una velocitat màxima de 1,5 m/s i es capaç de moure una massa de fins a 3kg. Aquest és el component principal per dur a terme aquests tipus d'assaig. La seva forma d'actuar ve controlada pel generador de funcions aleatòries i alhora passa per l'amplificador per què sigui capaç de donar la força desitjada en cada punt del rang freqüencial.

L'excitador té altres components connectats a ell com són el sensor condicionador de senyal ICP, explicat en els punts 4-5, i també al bufador de refrigeració TB 0080 + silenciador del TB 0080, esmentat en el punt 7. Aquest últim element, és imprescindible pel bon manteniment de l'excitador ja que genera molta calor causada pel fregament en el moviment dels seus components alhora de la vibració.



Figura 4.2.7. Figura de l'excitador de vibració (TIRA Vib)

Aquest element té un pes de 36kg, totalment necessari per evitar que es vagi movent durant un assaig i pugui caure o cometre algun dany depenent a on estigui situat. Altres paràmetres tècnics d'aquest equip es poden visualitzar en l'ANNEXE IV d'aquesta memòria.

Cal comentar que pel bon funcionament d'aquest excitador de vibració és necessari l'ús de l'amplificador BAA120, Figura 5, i també del conjunt de bufador de refrigeració TB 0080 + silenciador del TB 0080, Figura 9.

4) 5) Condicionador de senyal alimentat per bateries per al sensor ICP (PCB) :

Aquest conjunt, Figura 4.2.8, és l'encarregat de transformar la variació de de posició (mm) adquirida pel transductor enganxat a l'excitador a valors de tensió (mV). Aquest canvi de valors és necessari per poder-los enregistrar amb el Fluke Hydra, Figura 8, que s'explica a continuació, i després poder extreure gràfiques de les forces aplicades a l'assaig.

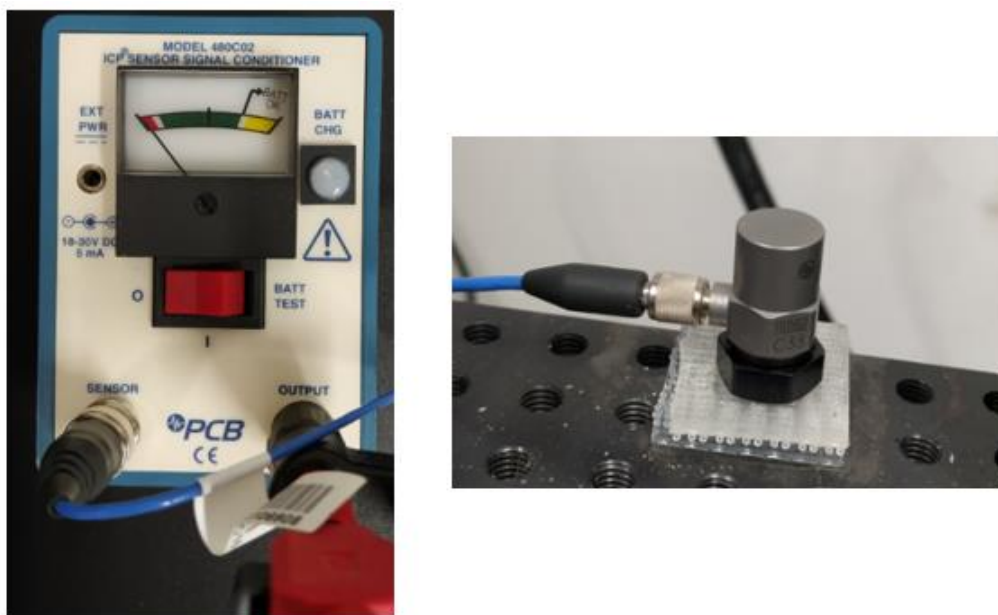


Figura 4.2.8. Figura del sensor ICP i condicionador de senyal

El monitor del condicionador de senyal està alimentat per 3 piles de 9V connectades en sèrie per donar una tensió total de 27V. El transductor funciona amb un corrent constant de 2mA establert per un díode corrent constant. El panell frontal conté un voltímetre de monitor de falles amb codi de colors, Figura 4.2.9, la presa "XDCR", la presa de sortida de senyal amb l'etiqueta "SCOPE", un commutador de roca "ON-OFF BATT TEST", una presa externa d'alimentació per a entrades de fins a 27V i una receptacle del carregador de bateries.



Figura 4.2.9. Codi de colors del monitor condicionador de senyal

Aquest pas és necessari realitzar-lo per poder més tard obtenir el valor de la força G. Els valors de tensió enregistrats cada minut pel FLUKE Hydra III són els usats pel càlcul d'aquesta força. Els "mV" de la següent equació (1), que s'extreuen del FLUKE, amb una equació de transformació s'obté la Força G aplicada.

$$\text{Força G} = \frac{mV}{1000} * \frac{1}{0,0102} * 0,1 \quad (1)$$

El rang de treball a nivell de força, dins l'empresa es va definir que màxim calia realitzar una força de 2G i això equival a un valor tensió de 200-215mV. Apart, el rang freqüencial és de 20Hz a 120Hz i es realitza un total de 10 cicles. Aquestes condicions són les que l'empresa va imposar dins del compliment de la norma. Tot i així si es troba que un client demana alguna altre cosa en concret, es fa l'assaig segons les especificacions particulars definides pel client i si en les pròpies instal·lacions no és possible fer aquest tipus d'assaig s'envia l'equip a un laboratori extern, com per exemple Applus.

Tot i així gairebé tots els assajos de vibració que es duen a terme a l'empresa tenen com a fi una validació interna d'un bon producte, ja que el laboratori no està acreditat en aquest àmbit i això comporta que no sigui vàlid pel mercat.

Altres dades tècniques sobre aquest, es poden trobar en el datasheet en l'ANNEXE II.

6) Hydra III 2638A adquisició de dades (FLUKE)

El FLUKE Hydra, Figura 4.2.10, té varies utilitats a l'hora de la realització d'un assaig de vibració. La primera d'elles es poder associar la força inicial a la freqüència inicial. Així durant tot l'escombrat freqüencial de l'assaig, es van ajustant les forces a aplicar a cada freqüència. Apart d'aquesta funció també dona l'opció de registrar tots els valors de tensió que rep del Condicionador de senyal alimentat per bateries per al sensor ICP i finalment extreure un arxiu del tipus ".csv" per poder realitzar una gràfica del comportament de la força segons la freqüència de tot l'assaig. Apart, durant tot l'assaig va motoritzant els valors de tensió i si es vol es pot visualitzar la gràfica d'aquests valors. En aquest cas, el que s'ha programat és que registri un valor de tensió cada minut, ja que el canvi de freqüències de l'escombrat també es fa cada minut. Així que, després a l'hora de realitzar la gràfica és més fàcil associar freqüència – voltatge.



Figura 4.2.10. Figura adquisició de dades FLUKE Hydra III 2638A

A continuació, es detallen totes les parts del Fluke Hydra III tan davanteres com posteriors com es visualitza en la Figura 4.2.11. Cal destacar les tecles per enregistrar dades en la seva memòria interna, el connector per introduir mòduls d'entrada, té per poder connectar fins a 3 mòduls d'entrades. Això, pot comportar que pot enregistrar fins a 60 canals a la vegada. També cal anomenar, el suport USB ja que facilitar molt la transferència de les dades enregistrades en la memòria. Tot i que només es poden extreure aquestes dades quan ja s'ha finalitzat l'enregistrament d'aquestes.

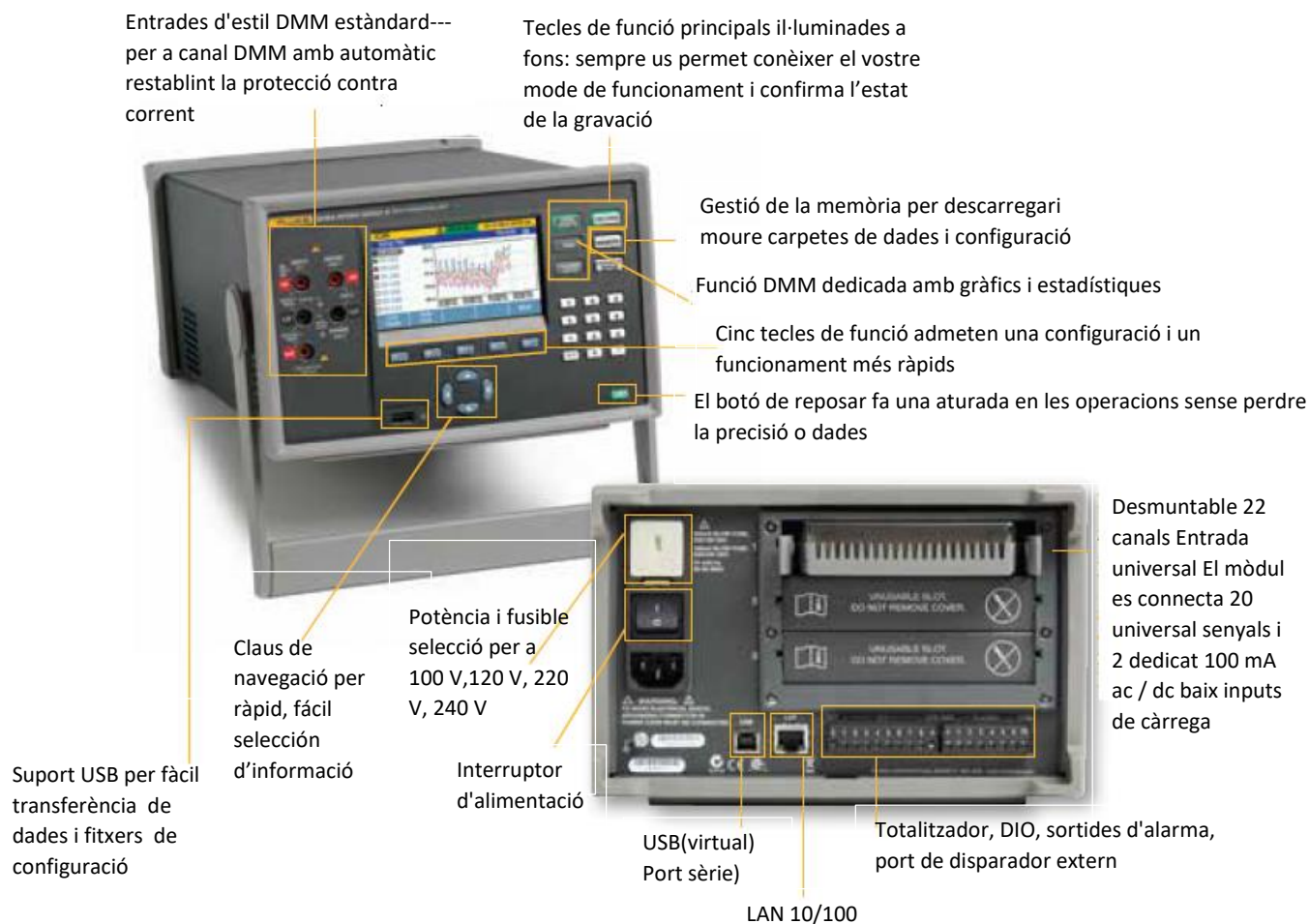


Figura 4.2.11. Parts del FLUKE Hydra III 2638A

El connector d'entrada universal endolls, Figura 4.2.12, a la ranura de la 2638A / 05 que conté un relé útil targeta. El connector d'entrada universal té 22 canals d'entrada (20 entrades universals i 2 dedicades, corrent d'entrada de baixa càrrega canals). Cada connector d'entrada conté un CJC (unió freda) compensació) dispositiu, que és calibrat a la fàbrica. La calibració connector de data i entrada el número de sèrie està programat a el connector d'entrada i es llegeix per la 2638A / 05 quan s'instal·la.

Aquesta informació es desa a la prova fitxer de dades de configuració, disponible per revisió amb qualsevol exploració associada dades d'una configuració de la prova. Aquesta funció és una forma valuosa de traçabilitat si es treballa en un sistema regulat indústria.

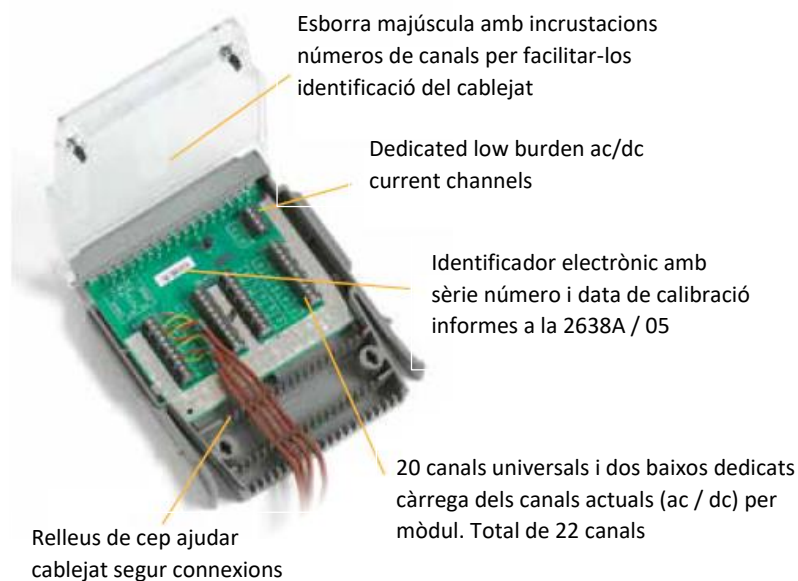


Figura 4.2.12. Mòdul d'entrades universal Fluke Hydra III

Gràfica les dades en temps real de fins a quatre canals alhora. Només cal seleccionar els canals i veure en temps real gràfics de les mesures. El gràfic a escala automàtica per adaptar-lo millor els valors mostrats. Fer zoom o per veure zones d'interès amb la tecla d'un botó. Una història mode us permet desplaçar-se dades prèviament recollides dins el fitxer d'exploració ... tot sense ordinador i costosos programes de gràfics.

Altres dades tècniques sobre aquest equip, es poden veure en el datasheet situat a l'ANNEXE VII.

7) Bufador refrigeració TB 0080 + Silenciador TB 0080

Aquest component és totalment necessari per un bon manteniment del "Shaker", ja que a causa del fregament i del moviment d'aquest, s'escalfa molt. El Bufador refrigeració TB 0080 + Silenciador TB 0080 el que fa es refredar el shaker i evitar així que es pugui espatllar per culpa del sobre escalfament d'aquest.

El bufador de refrigeració té un pes de 10kg i un consum de 0,37kW. El màxim corrent que consumeix als 230V és de 2,7A. La seva longitud màxima de mànega és de 3m. A continuació, es pot visualitzar aquest component en la Figura 4.2.13.



Figura 4.2.13. Bufador de refrigeració TB 0080

Amb el component anterior, se li pot acoblar un silenciador per evitar que aparegui molt de soroll. En aquest cas, s'ha connectat a un silenciador TB 0080, Figura 4.2.14, el qual és capaç de reduir fins a 5dB el soroll que produeix el bufador de refrigeració. Té un pes de 200g i unes dimensions de 310 x 65 mm (L x D).



Figura 4.2.14. Silenciador TB 0080

El conjunt Bufador refrigeració TB 0080 + Silenciador TB 0080, Figura 4.2.15, és l'últim equip que forma tot el conjunt del sistema de vibració.



Figura 4.2.15. Figura de l'equip de refrigeració del Shaker

Altres dades tècniques sobre aquest equip, es poden veure en el datasheet situat a l'ANNEXE V.

Un cop explicat el funcionament de cadascun dels components del sistema de vibració, cal visualitzar com es connecten entre ells i quin equip governa sobre quin altre. En la Figura 4.2.16, es visualitza com des del PC, amb el software DDS3X25 USB, es connecta amb el generador de funcions arbitràries i aquest dona la consigna de treball a l'amplificador BAA120.

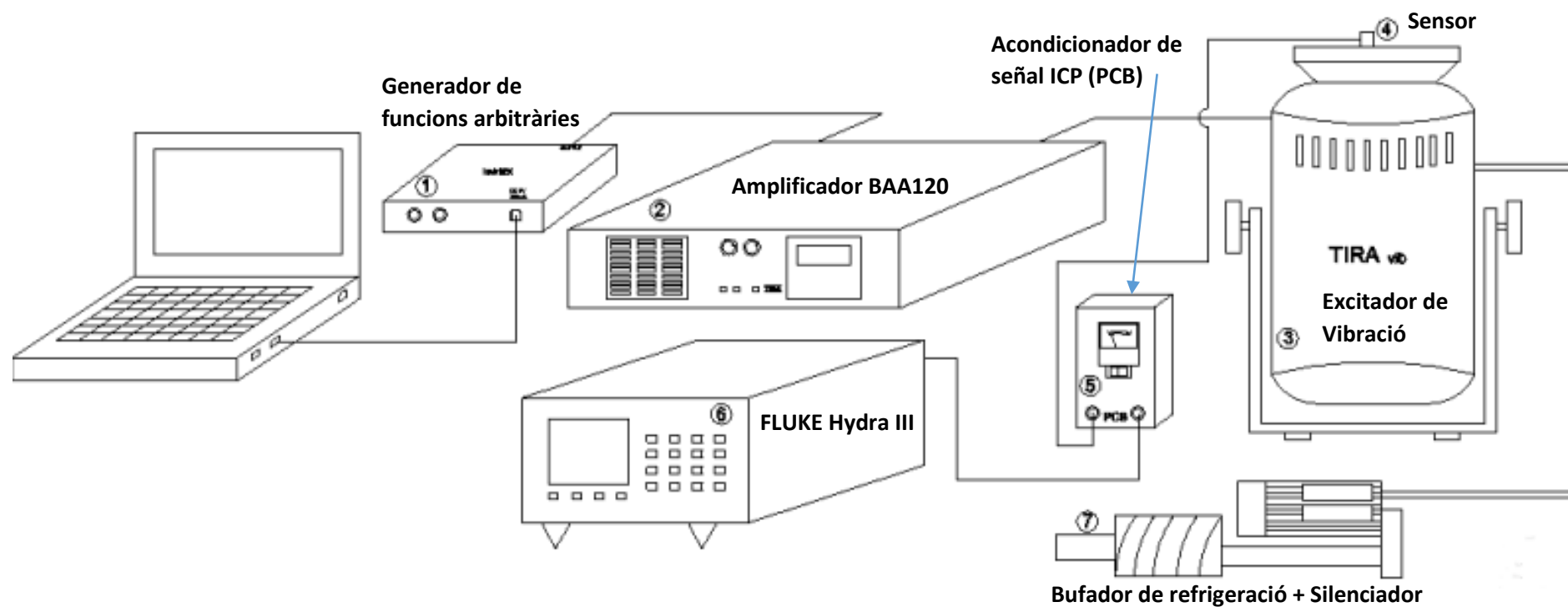


Figura 4.2.16. Connexionat de tots els equips del sistema de vibració

4.3 Simulació de l'assaig amb un equip qualsevol, anàlisi de resultats i comparació amb la petició de la norma

En aquest punt, es realitzarà l'explicació de la simulació d'un assaig amb un equip de la marca CIRCUTOR i s'explicaran totes les característiques tècniques aplicades segons norma.

El primer pas es la realització del "SETUP", muntatge i programació de tot el sistema de vibració i l'equip a assajar. En les següents Figures 4.3.1, Figura 4.3.2, Figura 4.3.3, es pot visualitzar el muntatge de l'equip a sobre del Shaker, en aquest cas l'equip té una instal·lació habitual sobre carril DIN i d'això aquest tipus de muntatge.

Cal destacar que l'equip se li realitza l'assaig sense el seu embolcall, caixa on va introduït amb el manual a l'hora de vendre'l, i amb unes fixacions laterals per evitar que per culpa de les vibracions l'equip es vagi movent sobre el carril DIN. Aquest carril, s'intenta ajustar al màxim a les dimensions de l'equip, ja que si és molt més gran del necessari pot fer que el desplaçament sigui superior al que es vol assajar i doni valors erronis.



Figura 4.3.1. Muntatge de l'equip en un dels eixos (VERTICAL)

Després es situa l'equip per dur a terme en un altre eix, Figura 14, com pot ser en el sentit horitzontal de d'aquest.



Figura 4.3.2. Muntatge de l'equip en un dels eixos (HORITZONTAL)

Finalment, es configura l'equip en l'última posició que falta per assajar, Figura 15, que es tracta de la posició FRONTAL de l'equip.



Figura 4.3.3. Muntatge de l'equip en un dels eixos (FRONTAL)

Un cop es té l'equip muntat, cal definir tots els paràmetres pel patró que s'utilitzarà per l'assaig. És a dir, primer de tot s'encenen el bufador i silenciador, per evitar sobre escalfaments, després l'amplificador, el condicionador de senyal, el fluke Hydra, per poder monitoritzar i registrar els valors del sensor i finalment el portàtil on estigui instal·lat el software DDS-3X25 USB per executar els valors de l'escombrat. Tot el conjunt del sistema de vibració, es pot visualitzar en la següent Figura 4.3.4.

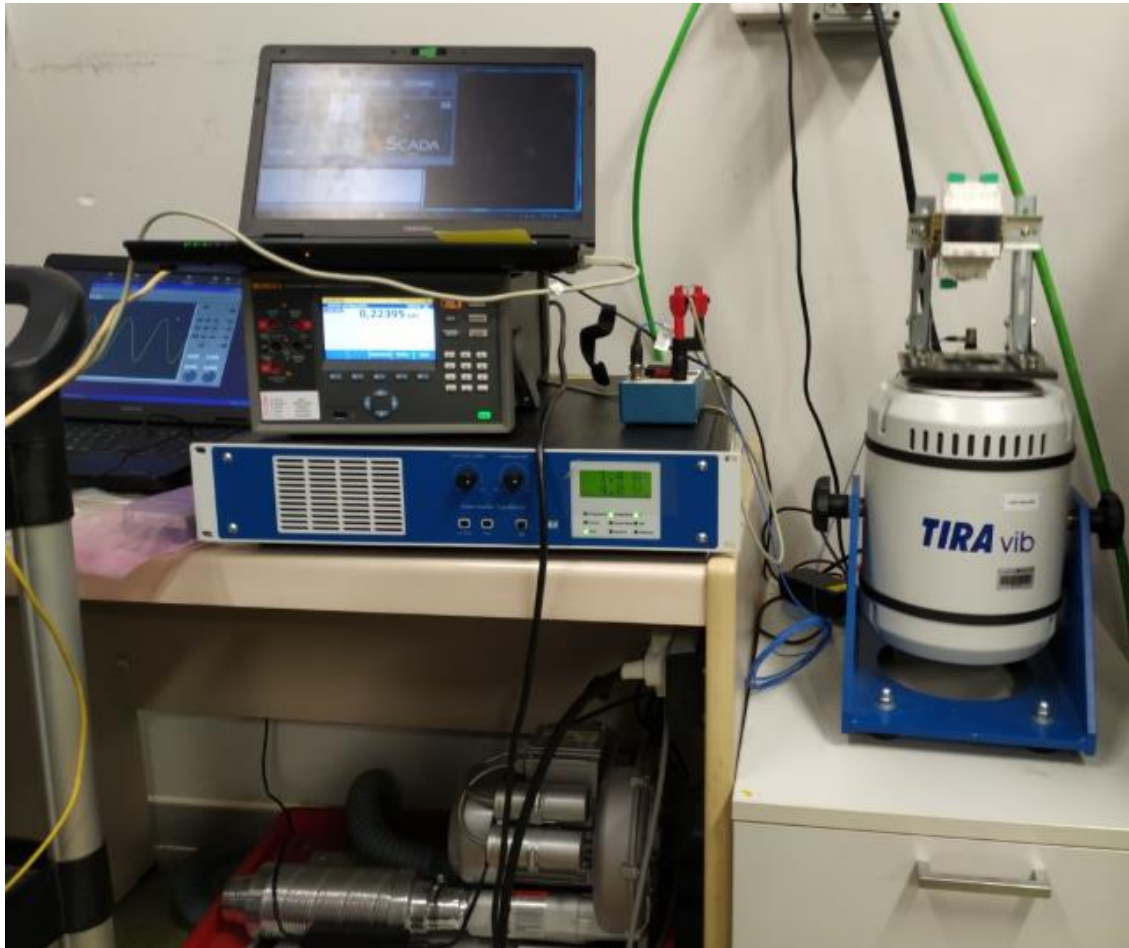


Figura 4.3.4. Sistema de vibració del laboratori abans de l'assaig

Com ja s'ha comentat en els apartats anteriors, les característiques d'aquest assaig són:

- Escombrat de freqüències : 20 – 120Hz
- Número de cicles d'escombrat : 10
- L'escombrat tindrà salts de 10 en 10Hz i el temps a fer aquests salts és de 1min.
- Es realitzaran aquests cicles en cada un dels eixos (frontal, horitzontal, vertical)
- Cada minut el Fluke Hydra registre el valor de tensió en aquell instant.
- La tolerància en el desplaçament de l'equip durant l'assaig serà del 5%.
- Es realitzaran comprovacions de la funcionalitat de l'equip abans i després de realitzar l'assaig de cada eix.
- S'agafa una acceleració constant, sobre els 20m/s^2 que equival una força de 2 G, durant tot l'escombrat freqüencial.

Els tres primers punts s'introdueixen en el software, DDS-3X25 USB, ja que aquest és el que governarà com es durà a terme l'assaig. Cal també, ajustar bé els valors de tensió i corrent de l'amplificador, ja que sinó no serà capaç de donar la potència necessària i el limitador de corrent pot fer que la vibració de l'excitador s'aturi i s'hagi de tornar a repetir l'assaig.

Un cop finalitzat els 90 minuts d'assaig d'un eix, es guarda el registre de valors de tensió que ha fet el Fluke Hydra i es duen a terme les comprovacions de l'equip. Després es realitza el muntatge en la posició que toqui segons l'eix a assajar i es repeteix un altre cop tot l'assaig. Un cop realitzat els tres eixos, amb els valors enregistrats s'ha creat arxius del tipus .csv els quals els exportem al Excel. Cal tractar una mica les dades obtingudes per poder extreure conclusions del comportament de les forces durant l'assaig.

Amb la fórmula esmentada en el punt 4-5 de l'apartat 4.2, es poden obtenir les forces G durant tot l'escombrat freqüencial. La gràfica resultant, Figura 4.2.8, d'aquestes, després de l'assaig és la següent:

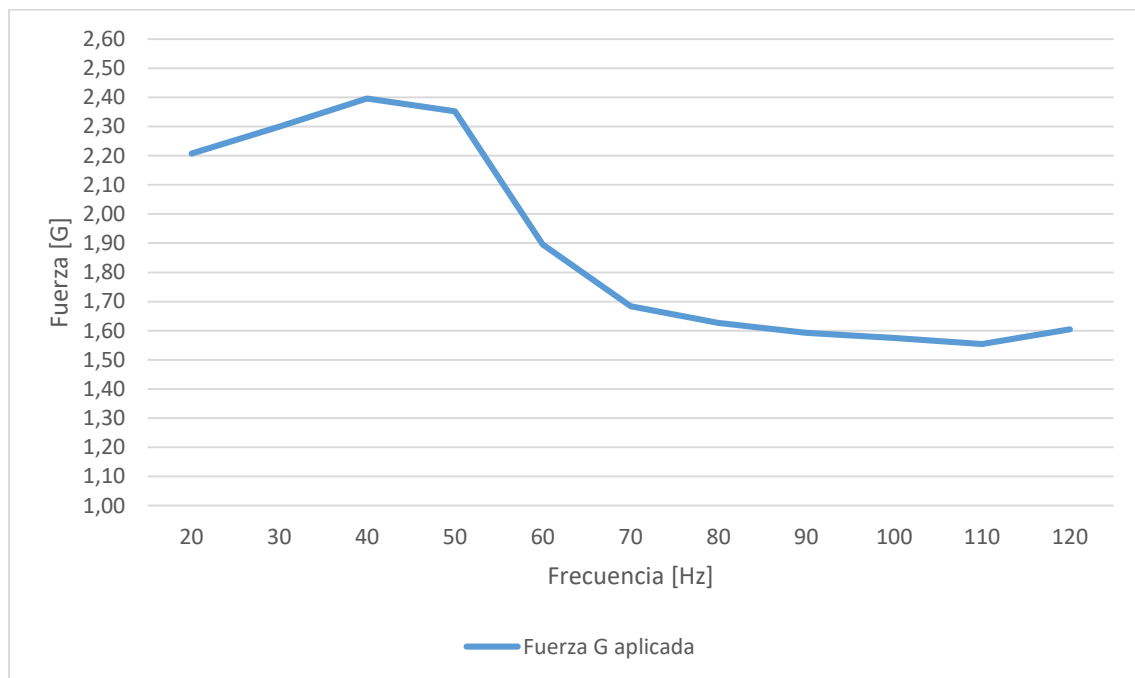


Figura 4.3.5. Gràfica de la força aplicada durant l'assaig

Es pot comprovar, que en el rang de freqüències compreses entre 20-50 Hz la força ha augmentat, i aquest comportament no és el correcte. Ja que això comporta que el desplaçament de l'equip també augmenti i això comporta que es superin els límits de tolerància que marca la norma del 5%. El comportament més adient seria que inicialment el valor de la força estigués més o menys estabilitzada sobre els 2 G i que cada vegada que augmentés la freqüència, aquesta força anés disminuint. Això comporta que a mesura que augmentes la freqüència el desplaçament anés disminuint, ja que aquest dos paràmetres tenen una relació inversa.

Si la gràfica anterior, que determina la relació de la força G aplicada durant tot l'escombrat freqüencial de l'assaig, es volgués traslladar a paràmetres de desplaçament, seria necessari primerament veure la fórmula d'acceleració per una ona sinusoidal. On l'acceleració, Figura 4.3.6, és igual al producte del desplaçament, per 4, per π al quadrat i la freqüència en aquell instant al quadrat.

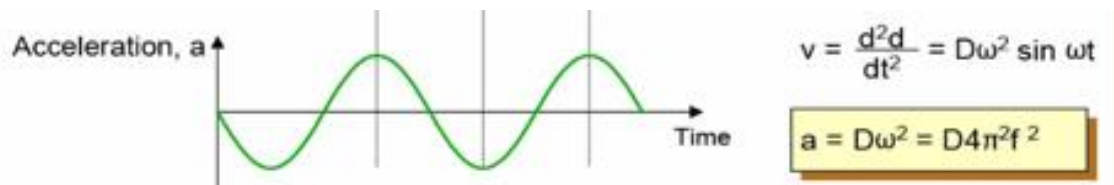


Figura 4.3.6. Figura del càlcul del desplaçament en una ona sinusoidal mitjançant l'acceleració.

En l'equació de l'acceleració es troba " D " que és el desplaçament que té en aquest cas l'equip al aplicar-li una força i a una freqüència " f " determinada. Si s'aïlla aquest paràmetre de l'equació, equació (2), s'obté el següent:

$$D = \frac{a}{\pi^2 * f^2} \quad (2)$$

Els valors teòrics aplicats a l'assaig, són el d'acceleració de 20m/s^2 , el rang de freqüència a on es vol verificar els valors de desplaçament es compren entre $20 - 120\text{Hz}$. Finalment, com ja se sap, el valor de π és de $3,1416$. Es creu que aquest rang de freqüències és on els equips poden patir més i per tant els més crítics i els interessants d'analitzar.

Cal dir, que el comportament del desplaçament en aquest assaig, serà de més a menys. Això es causat que a freqüències baixes es té més període i per tant el desplaçament augmenta. I a mesura que va augmentant la freqüència el període es redueix i en conseqüència el desplaçament disminueix. Aquest comportament, es veuria reflectit en la Figura 4.3.7.

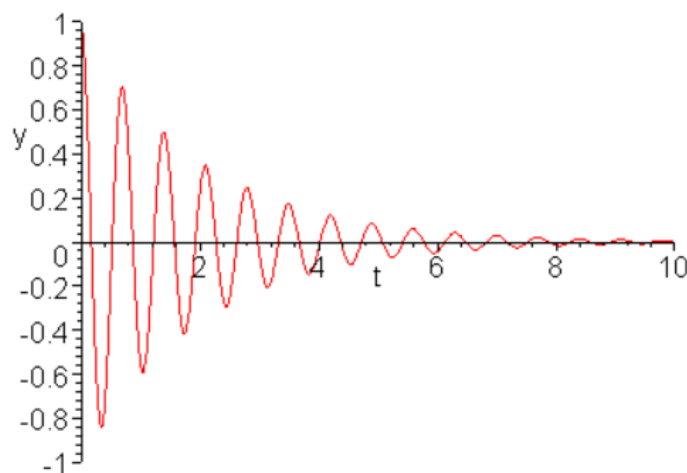


Figura 4.3.7. Gràfica d'un moviment teòric esmorteït

En la gràfica anterior, els valors són de caràcter teòric i només serveixen per poder visualitzar millor el moviment que patirà l'equip en aquest tipus d'assaig. Cal comentar que l'eix "y" simularia el valor del desplaçament i el eix "x" seria el rang de freqüències de treball.

El resultat dels valors reals del desplaçament després de l'assaig han sigut els que es poden veure en la Taula 1.

Taula 1. Valors reals del desplaçament després de l'assaig

f (Hz)	Força (G)	a (m/s ²)	PI	Desplaçament (m)	Desplaçament (mm)
20	2,21	22,07	3,1416	± 0,0013978	± 1,398
30	2,30	23,00	3,1416	± 0,0006472	± 0,647
40	2,40	23,96	3,1416	± 0,0003794	± 0,379
50	2,35	23,52	3,1416	± 0,0002384	± 0,238
60	1,90	18,96	3,1416	± 0,0001334	± 0,133
70	1,68	16,83	3,1416	± 0,0000870	± 0,087
80	1,63	16,27	3,1416	± 0,0000644	± 0,064
90	1,59	15,92	3,1416	± 0,0000498	± 0,05
100	1,57	15,75	3,1416	± 0,0000399	± 0,04
110	1,55	15,54	3,1416	± 0,0000325	± 0,033
120	1,60	16,04	3,1416	± 0,0000282	± 0,028

Com ja es pot veure a la columna d'acceleració de la taula anterior, els valors fins a 50Hz son superiors a la consigna, que s'havia establert en 20m/s². Això ja és un símptoma que algun equip del sistema de vibració no esta funcionant correctament. Apart, un altre comportament estrany és que en les tres primeres freqüències, l'acceleració va augmentant i això comporta que directament el desplaçament també ho faci. Com s'ha comentat anteriorment, aquest comportament que ha succeït és totalment contrari al que seria el correcte.

En principi, els valors teòrics de desplaçament i els límits de desplaçament marcats per la norma serien el marcats en la Taula 2.

Taula 2. Valors dels límits teòrics per norma del desplaçament

f (Hz)	a (m/s ²)	PI	Desplaçament (m)	Desplaçament (mm)	5% tolerància (mm)	Límit desplaçament (mm)
20	20	3,1416	0,001266509	± 1,2665	± 0,0633	± 1,3298
30	20	3,1416	0,000562893	± 0,5629	± 0,0281	± 0,5910
40	20	3,1416	0,000316627	± 0,3166	± 0,0158	± 0,3325
50	20	3,1416	0,000202641	± 0,2026	± 0,0101	± 0,2128
60	20	3,1416	0,000140723	± 0,1407	± 0,0070	± 0,1478
70	20	3,1416	0,000103388	± 0,1034	± 0,0052	± 0,1086
80	20	3,1416	7,91568E-05	± 0,0792	± 0,0040	± 0,0831
90	20	3,1416	6,25436E-05	± 0,0625	± 0,0031	± 0,0657
100	20	3,1416	5,06604E-05	± 0,0507	± 0,0025	± 0,0532
110	20	3,1416	4,18681E-05	± 0,0419	± 0,0021	± 0,0440
120	20	3,1416	3,51808E-05	± 0,0352	± 0,0018	± 0,0369

A continuació, es poden visualitzar els valors teòrics i els reals després de l'assaig en el següent gràfic, Figura 4.3.7. A simple vista, tal hi com s'ha vist anterior en les taules 1 en comparació a la taula 2, hi ha valors reals enregistrats que superen als límits permesos per la norma.

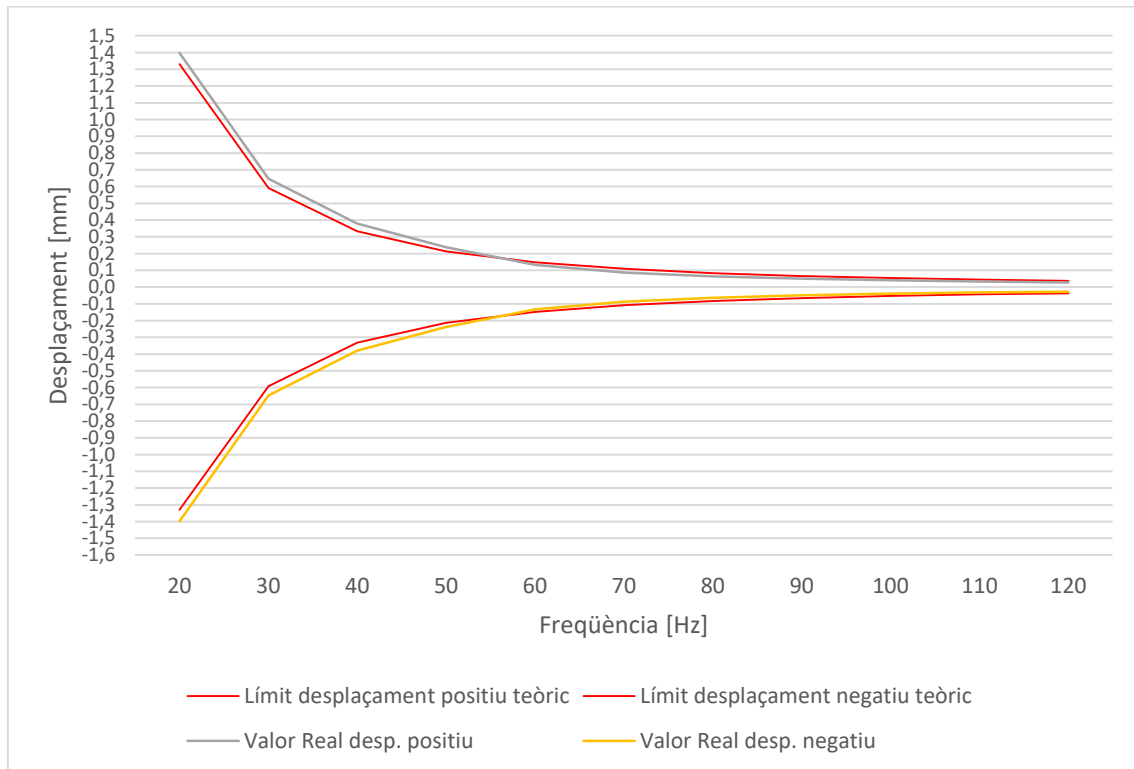


Figura 4.3.7.. Figura de la gràfica dels resultats de desplaçament després de l'assaig.

Com reflexa la gràfica anterior, on es poden visualitzar els límits del desplaçament en vermell, hi ha certes freqüències on el desplaçament supera el límit marcat per la norma. En els registres inicials de l'assaig cal destacar que és a on hi ha un desplaçament més elevat, tots els valors de l'escombrat fins a una freqüència de 60Hz sobre passen els límits permesos.

Per poder veure-ho més, es realitza un zoom i el resultat es la següent Figura 4.3.8.

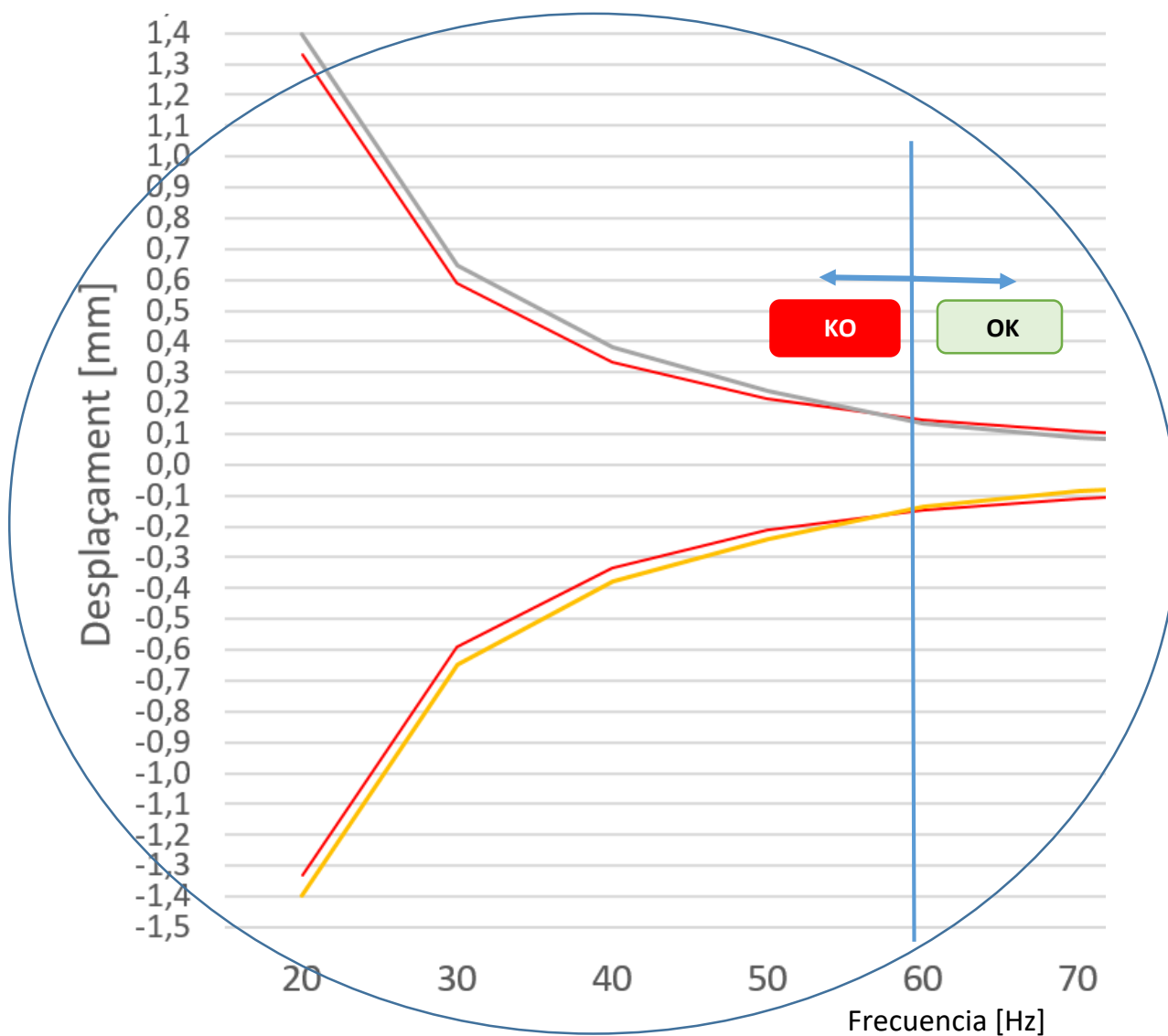


Figura 4.3.8. Figura AMPLIADA de la gràfica dels resultats de desplaçament després de l'assaig.

Com a conclusió d'aquest primer assaig, es poden treure els següents resultats, Taula 3. En vermell hi ha els valors que no compleixen amb la norma, i els de color verd estarien dins dels límits permesos.

Tot i que els valors no sobrepassant molt els límits, no es podria donar com a vàlid el resultat d'aquest assaig. Cal destacar que en tots els punts de l'assaig s'ha de complir amb el que exigeix la norma.

Taula 3. Resultats dels valors de desplaçament de l'assaig segon la norma

Resultats		
f (Hz)	Desplaçament	Dteo-DReal (mm) (*)
20	KO	-0,068
30	KO	-0,0562
40	KO	-0,0469
50	KO	-0,0256
60	OK	0,0144
70	OK	0,0215
80	OK	0,0187
90	OK	0,0159
100	OK	0,0133
110	OK	0,0114
120	OK	0,0087

(*) "Dteo-DReal" significa la diferència entre el valor del desplaçament teòric, límit marcat per normativa, i el valor del desplaçament després de l'assaig. És clar, que quan aquesta diferència és negativa significa que es sobre passa el valor del límit i per tant no és correcte.

És clar, que després de la realització de l'anàlisi dels resultats de l'assaig anterior, és totalment necessari realitzar un estudi per la millora del sistema de vibració que estigui a l'abast. És clar, que els recursos disponibles per desenvolupar alguna solució factible i robusta és molt complicat ja que per l'empresa no és una prioritat i no vol destinar ni molts diners ni molt de temps del seu personal. Tot i així s'intenta realitzar un estudi ampli amb diferents possibilitats per si no pot ser en aquest moment, quedi constància i es pugui desenvolupar més endavant.

5. ESTUDI I CERCA DE POSSIBLES SOLUCIONS A LA DESVIACIÓ

Després de visualitzar i documentar amb dades el desviament del desplaçament a l'hora de dur a terme un assaig de vibració sinusoïdal, i que comporta el no compliment de la norma, s'han avaluat diferents vies per la cerca d'una solució.

El primer pas que s'ha dut a terme, ha sigut l'anàlisi de cada un dels components anomenats en l'apartat 4.2, per poder avaluar on pot estar el fallo o error del sistema de vibració.

Pel que fa al generador de funcions arbitràries, s'ha visualitzat la sortida d'aquest amb un oscil·loscopi i la senyal de sortida és la correcta segons les dades programades.

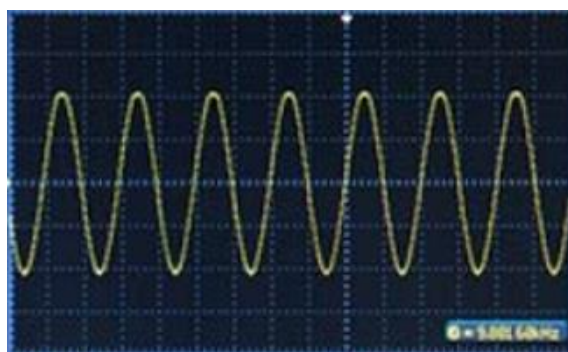


Figura 5.1. Sortida del generador de funcions arbitràries amb un oscil·loscopi.

Llavors, els dos únics elements que poden afectar al comportament de la senyal de control són l'amplificador analògic BAA120 o sensor condicionador de senyal, ja que el Fluke hydra només monitoritza i registre valors i el bufador només s'encarrega d'evitar un sobre escalfament a l'excitador de vibració.

Apart d'aquests dos components, cal també esmentar que el muntatge de l'equip és molt important, ja que depenent com estigui posat pot fer que els valors que detecti el sensor siguin problemàtics.

Així que es va concentrar a realitzar un anàlisi sobre l'amplificador, el sensor i el muntatge de l'equip.

El primer que es va valorar va ser fixar-se amb l'amplificador. La primera possible solució va ser plantejar-se poder dissenyar, implementar tan la part del hardware, un controlador PID que és molt usat en l'entorn industrial i serveix per poder controlar sistemes realimentats. Aquest controlador es basa en un algoritme que bàsicament el formen tres components que són el proporcional, integral i derivat. No és necessari fe ús dels tres components per dur a terme un bon control del sistema, ja que tots ells són independents. És clar, el que busca aquest tipus de controlador és que el sistema vagi cap a on la consigna d'entrada marqui i així reduir el possible error que sorgeixi causat per diferents fenòmens.

El càlcul de la sortida del sistema usant un controlador PID és,

$$Output(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \int_0^t e(t) \cdot dt + K_d \cdot \frac{de}{dt} \quad (3)$$

Cadascun dels seus components té un guany, K_p (Proporcional), K_i (integral) i K_d (derivatiu), que serveix per ajustar el controlador i així disminuir l'error a la sortida del sistema en el permanent. Pel que fa el component proporcional ajuda a reaccionar en el present, el integral reacciona per avens del passat i dona memòria al controlador i finalment la part derivativa ajuda a deduir possibles avens del futur però a vegades també pot afegir soroll al sistema. L'esquema del controlador PID és el següent:

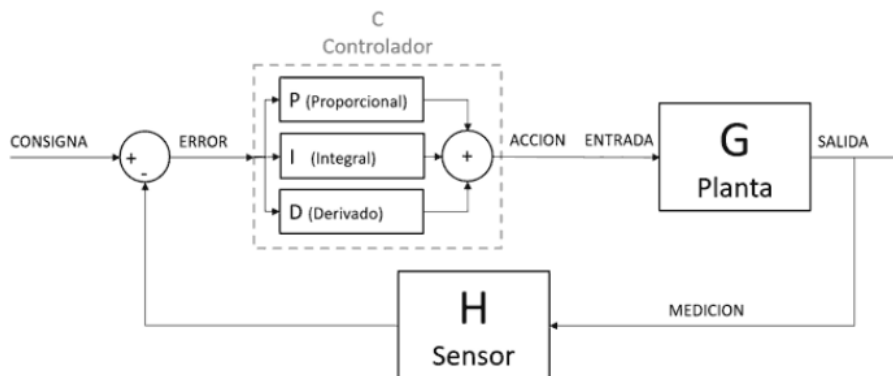


Figura 5.2. Esquema general d'un controlador PID

En el cas d'aquest projecte, la planta estaria composta per l'amplificador i el Shaker, i el sensor seria el sensor condicionant de senyal. La idea d'usar aquest controlador per evitar la desviació del desplaçament, tal i com es pot veure el l'esquema anterior, és que la consigna que és la senyal que ve definida pel generador de funcions arbitràries s'anés comparant, durant tot l'escombrat freqüencial, amb els valors que s'obtenen del sensor i es van monitoritzant pel fluke Hydra. El controlador gestionaria la senyal d'entrada de l'amplificador i es connectaria en el punt que es pot visualitzar en la següent Figura.

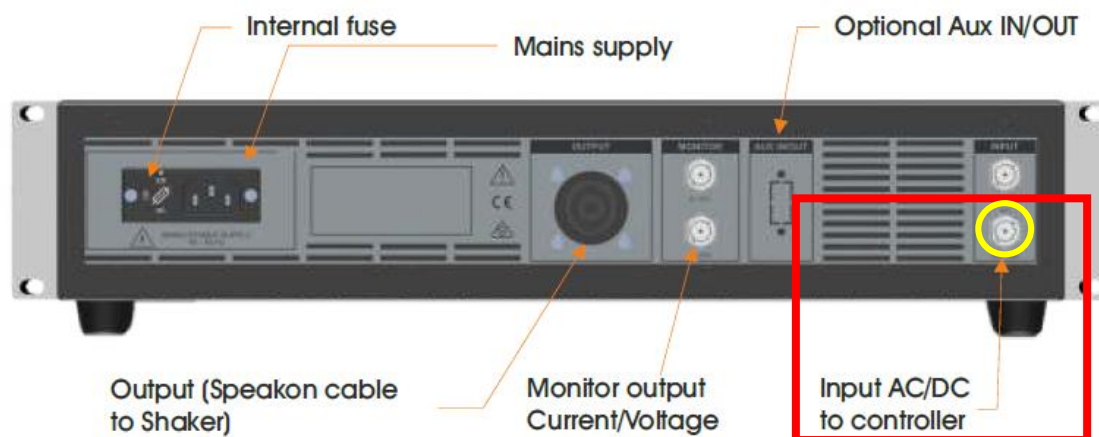


Figura 5.3. Connectors posteriors de l'amplificador BAA120

Aquesta opció, es va valorar molt inicialment però dins l'empresa es va valorar que s'haurien d'implicar molts recursos tan personals, per lo menys 2 persones del departament de I+D pel desenvolupament robust del controlador PID per poder-lo ajustar exactament a totes les condicions que es necessiten. També es creu que s'hauria de realitzar una despesa econòmica en bons materials i després en certificar el controlador i calibrar-lo fora perquè en qualsevol auditoria propera d'ENAC es pogués validar tot el sistema de vibració.

Tot i així, es va proposar treballar amb components d'arduino i buscar alguna alternativa per poder desenvolupar aquesta opció, ja que es creia una bona solució, però també es va desestimar ja que es creia que no seria lo suficientment eficient i que els resultats poder no serien els correctes. Apart, al veure que aquesta opció s'hauria d'implicar molt de temps que això també es traslladaria amb cost del personal i que actualment l'empresa esta molt implicada en treure nou producte al mercat, és a dir, que no es pot implicar molt de temps a altres temes que no sigui el desenvolupament de nou producte.

En definitiva, s'ha avaluat l'altre component, el sensor condicionador de senyal.

Aquest component és molt sensible, sobretot el sensor que es situa a sobre de la base de l'excitador de vibració. Inicialment, es va enganxar amb cinta aïllant perquè es creia que així no esmorteiria el moviment i així no afectaria amb els valors enregistrats. Però es valora fixar el sensor a la base amb un altre mètode com és la cinta de doble cara amb velcro.

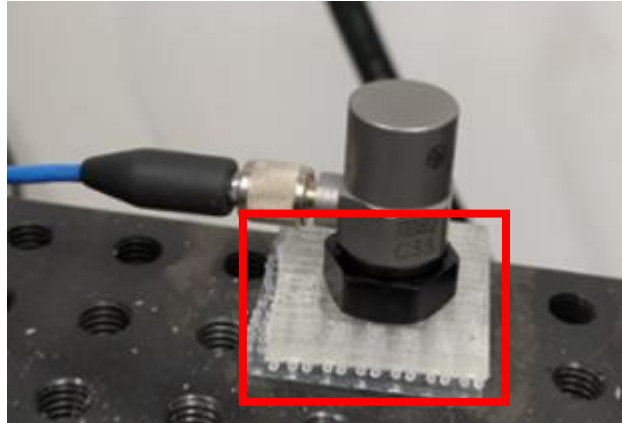


Figura 5.4. Figura detalla de la fixació del sensor (cinta de doble cara amb velcro)

Aquest tipus de material és molt resistent a tensions fortes sense perdre la seva adherència, i això fa que sigui una bona opció per la fixació del sensor tenint en compte que s'estarà desplaçant i vibrant durant tot l'assaig.

El convertidor, també s'ha analitzat i s'ha vist que necessita que les piles que el carregant, 3 piles quadrades de 9V, han de tenir una tensió de 7,5V a 9V perquè aquest funcioni correctament. En cas contrari s'ha pogut visualitzar en el Fluke Hydra que els valors no són els mateixos en quan estan exposats a les mateixes situacions. Això es pot veure amb l'agulla que te de marcador, que si aquesta esta per sota de la meitat ja no actua correctament.

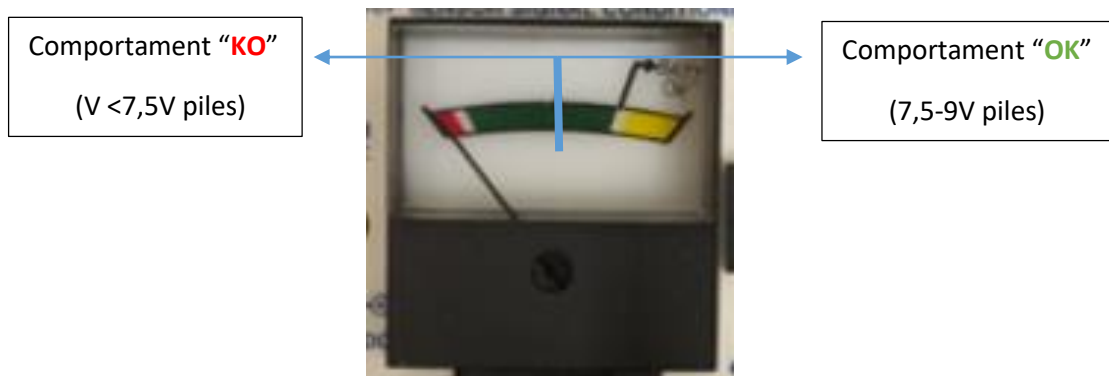


Figura 5.5. Monitor del convertidor de senyal

Aquestes dos canvis del sensor i convertidor de senyal, s'han pres com una possible millora del sistema de vibració però no es creu que sigui la solució al problema plantejat.

Cal recordar, que l'empresa no pot certificar un assaig de vibració sobre un producte que vagi a treure al mercat, és a dir, sempre cal validar aquest producte en laboratoris externs. Tot i així, aquest tipus d'assaig que es realitza a les instal·lacions del laboratori de CIRCUTOR SA, serveix per poder veure el comportament de l'equip i poder validar que en les condicions que s'han avaluat, l'equip és vàlid. Aquests assajos es realitzant sobre tot per simular o bé possibles sotracos del camió que transporta els equips a client o bé un cop instal·lats els equips, hi hagi la possibilitat que a prop seu tingui algun altre equip o es trobi en una situació que pugui tenir cert moviment.

Per tant, el que s'ha plantejat, tal i com realitzant en altres laboratoris externs com Applus, el fet de realitzar l'assaig amb una consigna d'acceleració de 10m/s^2 i no de 20 m/s^2 . Aquesta acceleració equivaldria a una força 1G.

Aquesta opció s'ha plantejat i argumentat als responsables del departament de laboratori i qualitat i s'ha pres la decisió de realitzar la prova amb aquestes característiques i veure si així no es sobrepassaven els límits exigits de la norma.

En cas contrari, que la reducció d'acceleració no s'ajustés als valors de desplaçament de la norma, l'última opció seria posar-se en contacte amb el proveïdor tant del generador de funcions arbitràries com amb els del Shaker de Tira, per poder ajustar un preu a l'actualització del software actual, que recordem el cost d'aquest ronda els 6000-7000€.

6. TRIA DE LA SOLUCIÓ MÉS ADEQUADA PER AQUEST SISTEMA

L'opció actual real que es pot implementar, és la de primer validar i fixar bé el sensor i posteriorment reduir el valor de l'acceleració del sistema i així fer que el desplaçament de l'equip durant l'assaig sigui inferior. Tot i així, s'ha de validar que els valors són dins d'una tolerància del 5%.

El primer pas, ha sigut millorar la fixació del sensor situat a la base del Shaker amb una cinta de doble cara amb fixació amb velcro. I Després el que s'ha fet ha sigut validar la carga que tenien les piles del convertidor i canviar-les totes per unes noves per realitzar la comprovació.

S'ha tornat a realitzar l'assaig explicat en l'apartat 4.3, i el resultats que s'han obtingut han sigut els següent, figura 6.1.

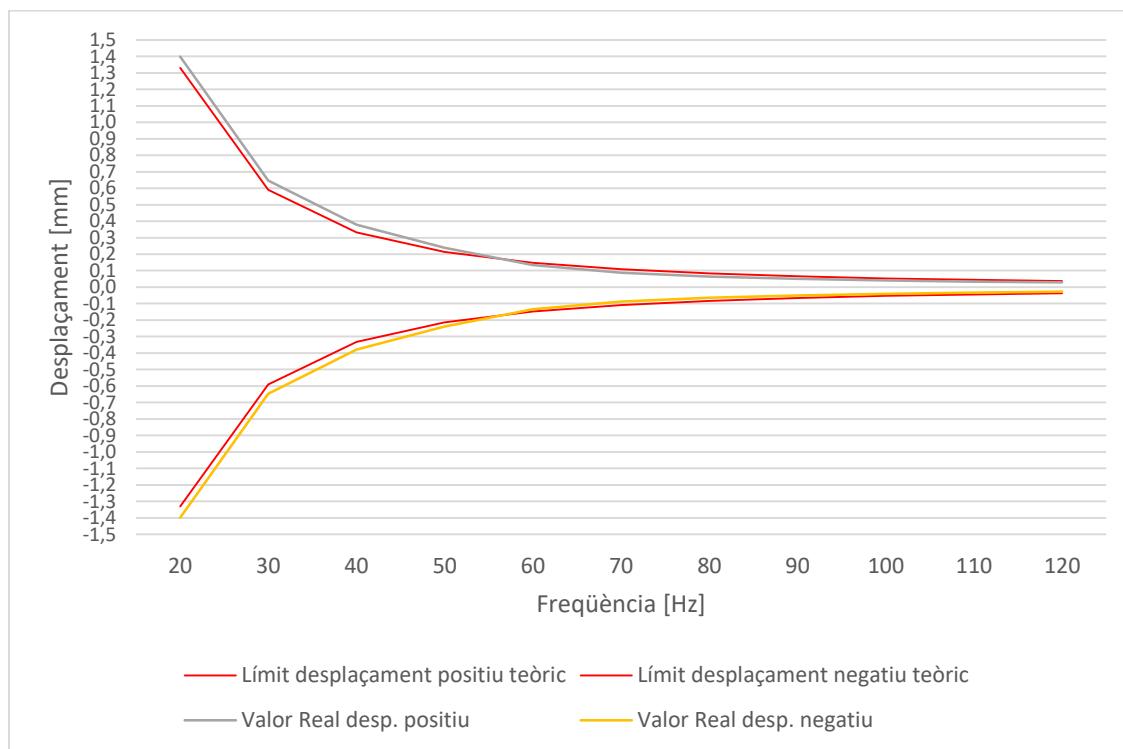


Figura 6.1. Gràfica dels resultats de desplaçament després de l'assaig

Com es pot visualitzar, i ja era d'esperar, realitzant aquest canvis encara es troben valors de desplaçament que sobrepassant els límits permesos. Tot i així, s'ha produït una lleugera millora ja que ara a partir dels 50Hz, els valors ja estan dins dels límits permesos, quan anteriorment com es pot visualitzar en la Figura 16, era a partir dels 60Hz.

Si es realitza una ampliació de la gràfica per valida els valors, es pot extreure la següent Figura 6.2.

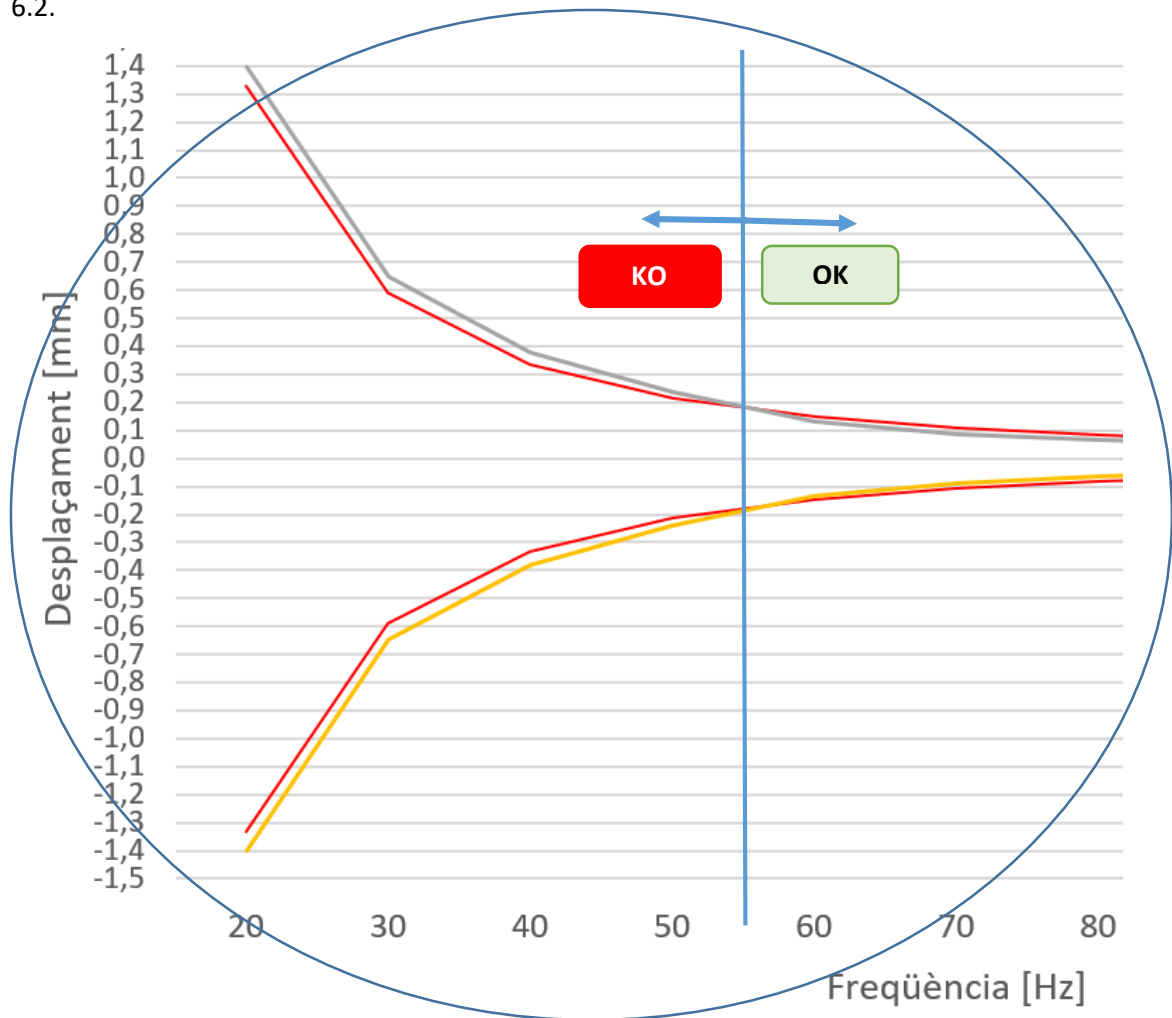


Figura 6.2. Figura AMPLIADA de la gràfica dels resultats de desplaçament després de l'assaig

Si es transmet el gràfic anterior, en valors en una taula s'obté el següent, Taula 4. On es pot observar que encara no es compleixen tots els punts segons la norma. Així que després de realitzar aquest canvi, tot i visualitzar una millora no es podria donar per vàlid i el seu resultat seria totalment "KO".

Taula 4. Resultats dels valors de desplaçament de l'assaig segon la norma

Resultats		
f (Hz)	Desplaçament	Dteo-DReal (mm) (*)
20	KO	-0,0260
30	KO	-0,0407
40	KO	-0,0330
50	OK	0,0125
60	OK	0,0026
70	OK	0,0161
80	OK	0,0146
90	OK	0,0187
100	OK	0,0119
110	OK	0,0094
120	OK	0,0114

(*) "Dteo-DReal" significa la diferència entre el valor del desplaçament teòric, límit marcat per normativa, i el valor del desplaçament després de l'assaig. És clar, que quan aquest diferencia és negativa significa que es sobre passa el valor del límit i per tan que no és correcte.

Com a conclusió, després dels canvis realitzats, s'ha visualitzat una lleugera millor ja que només en 3 valors de freqüència s'està fora dels límits permesos. Tot i que s'ha reduït l'error del sistema de vibració, cal dir que aquesta solució no fa que es validi el compliment de la norma.

Així que el següent pas, és la de agafar els següents valors tècnics per dur a terme l'assaig, on s'agafa un valor inferior de l'acceleració del sistema de vibració.

Acceleració és de 10 m/s^2 , el rang de freqüències a analitzar el mateix i finalment s'agafa com a valor del nombre PI de 3,1416.

Cal esmentar, que l'escombrat freqüencial, el número de cicles etc. Són els mateixos als explicats en el punt 4.3 del projecte.

Si es realitza la gràfica de força G aplicada en aquest cas, el resultat és el següent, Figura 24. On ja es pot visualitzar que no hi ha valors de força que superi 1G i que segons va augmentant el valor de la freqüència en l'escombrat el seu valor és igual o disminueix. Això és un bon símptoma que hi ha un comportament correcte.

Tot i així, cal analitzar totes les dades extretes de la Taula 5 i fer un anàlisi per obtenir el resultat amb les condicions que s'han aplicat.

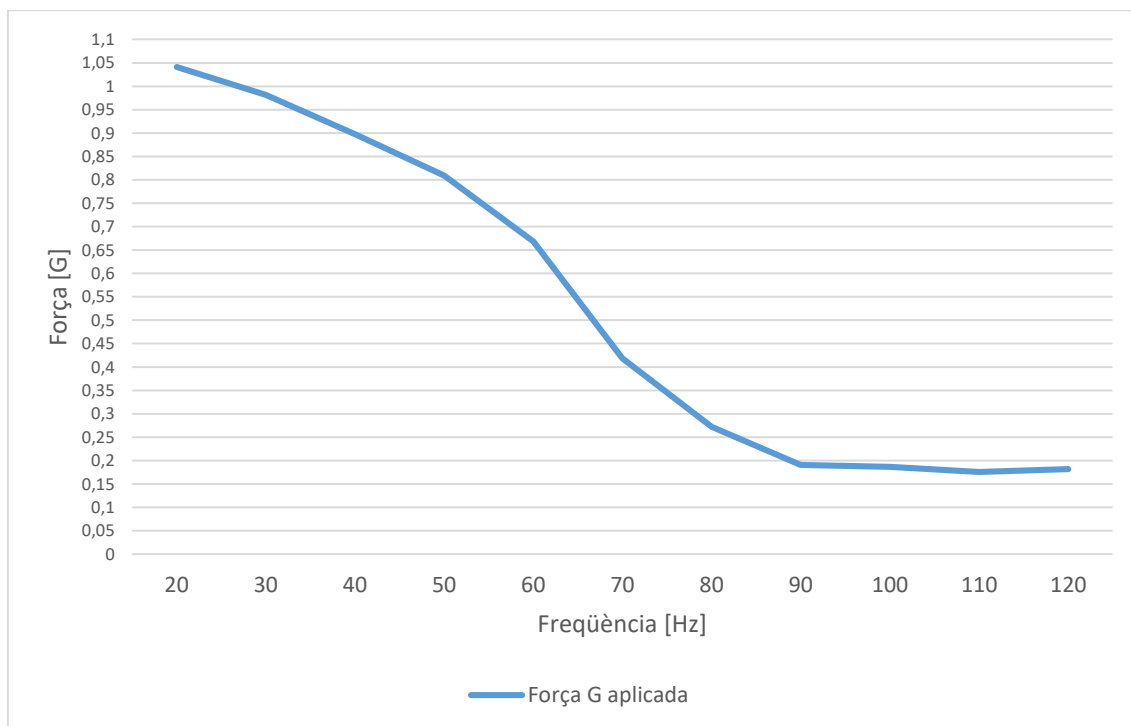


Figura 6.4. Gràfica de la força aplicada durant l'assaig

El resultat dels valors reals del desplaçament, Taula 5, després de l'assaig han sigut els següents.

Taula 5. Valors reals del desplaçament després de l'assaig

f (Hz)	Fuerza G	a (m/s2)	PI	Desplaçament (m)	(mm)
20	1,04136667	10,4136667	3,1416	± 0,000659	± 0,6595
30	0,9816719	9,81671895	3,1416	± 0,000276	± 0,2763
40	0,89756193	8,97561928	3,1416	± 0,000142	± 0,1421
50	0,80905784	8,09057843	3,1416	± 0,000082	± 0,0820
60	0,66807876	6,68078758	3,1416	± 0,000047	± 0,0470
70	0,41880605	4,18806046	3,1416	± 0,000022	± 0,0216
80	0,27176176	2,71761765	3,1416	± 0,000011	± 0,0108
90	0,19101781	1,9101781	3,1416	± 0,000006	± 0,0060
100	0,18663023	1,86630229	3,1416	± 0,000005	± 0,0047
110	0,17538317	1,7538317	3,1416	± 0,000004	± 0,0037
120	0,18160458	1,81604575	3,1416	± 0,000003	± 0,0032

Valorant els valors d'acceleració, sembla que en aquest cas s'aconseguirà complir amb els límits marcat per la norma indicats a la taula 6.

En principi els valors teòrics i els límits de desplaçament, per una acceleració fixada de 10m/s^2 , marcats per la norma serien els següents :

Taula 6. Valors dels límits teòrics per noma del desplaçament

f (Hz)	a (m/s ²)	PI	Desplaçament (m)	Desplaçament (mm)	5% tolerància (mm)	Límit desplaçament (mm)
20	10	3,1416	0,000633254	0,6333	± 0,0317	± 0,6649
30	10	3,1416	0,000281446	0,2814	± 0,0141	± 0,2955
40	10	3,1416	0,000158314	0,1583	± 0,0079	± 0,1662
50	10	3,1416	0,000101321	0,1013	± 0,0051	± 0,1064
60	10	3,1416	7,03616E-05	0,0704	± 0,0035	± 0,0739
70	10	3,1416	5,16942E-05	0,0517	± 0,0026	± 0,0543
80	10	3,1416	3,95784E-05	0,0396	± 0,0020	± 0,0416
90	10	3,1416	3,12718E-05	0,0313	± 0,0016	± 0,0328
100	10	3,1416	2,53302E-05	0,0253	± 0,0013	± 0,0266
110	10	3,1416	2,0934E-05	0,0209	± 0,0010	± 0,0220
120	10	3,1416	1,75904E-05	0,0176	± 0,0009	± 0,0185

Un cop obtinguts els valors reals després de l'assaig i calculats els valors dels límits de desplaçament teòrics segons en nou valors de l'acceleració, a continuació es mostra el gràfic de resultats d'aquests.

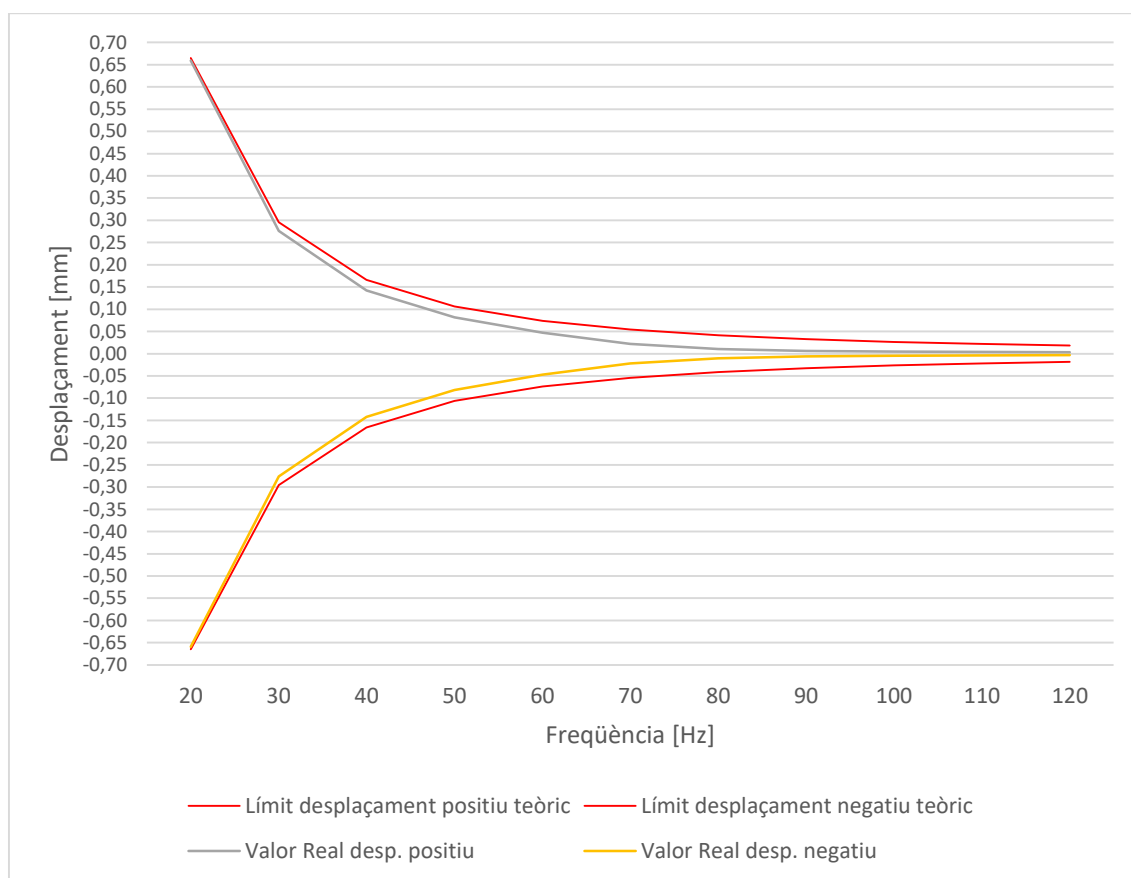


Figura 6.5. Figura de la gràfica dels resultats de desplaçament després de l'assaig

En el gràfic anterior es pot visualitzar com ja tots els valors de desplaçament, durant tot l'escombrat freqüencial, està dins dels límits marcats per la normativa. Tot i així, en les freqüències inicials, les que van de 20 a 60Hz, realitzarem una Figura ampliada per acabar de validar que els valors són correctes.

A continuació, es pot visualitzar aquesta Figura.

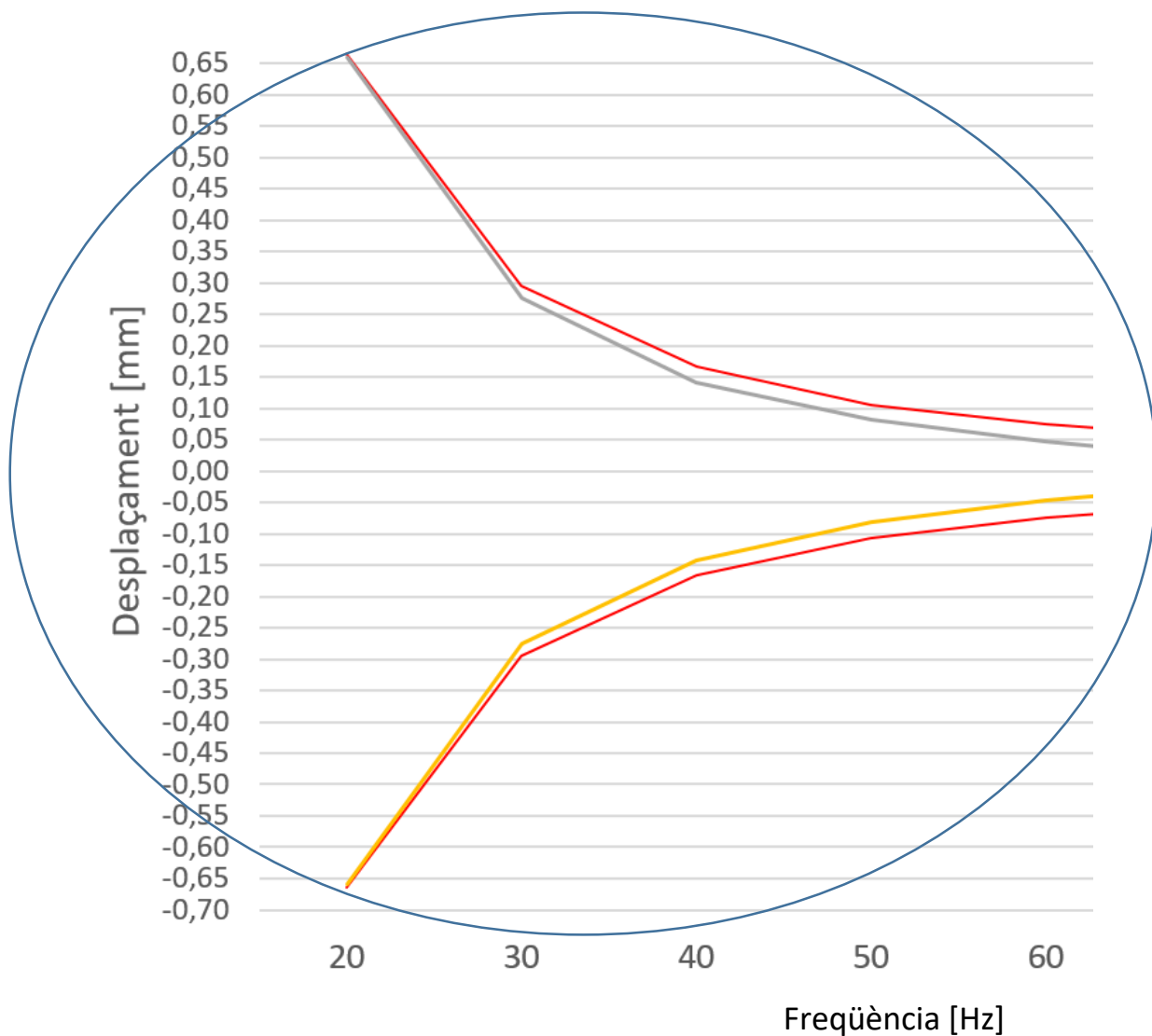


Figura 6.6. Figura AMPLIADA de la gràfica dels resultats de desplaçament després de l'assaig

Sembla clar, com es pot veure en la Figura anterior, que els valors de desplaçament són correctes i estan dintre de la tolerància marcada per la norma. Per validar això, a continuació es mostra la taula de valors dels límits desplaçament teòrics i els valors reals de desplaçament enregistrats durant l'assaig.

Taula 7. Resultats dels valors de desplaçament de l'assaig segon la norma

Resultats				
f (Hz)	Límit Desp. Teòric (mm)	Desp. Real (mm)	Resultat	Dteo-DReal (mm) (*)
20	0,6649	0,6595	OK	0,0055
30	0,2955	0,2763	OK	0,0192
40	0,1662	0,1421	OK	0,0241
50	0,1064	0,0820	OK	0,0244
60	0,0739	0,0470	OK	0,0269
70	0,0543	0,0216	OK	0,0326
80	0,0416	0,0108	OK	0,0308
90	0,0328	0,0060	OK	0,0269
100	0,0266	0,0047	OK	0,0219
110	0,0220	0,0037	OK	0,0183
120	0,0185	0,0032	OK	0,0153

(*) "Dteo-DReal" significa la diferència entre el valor del desplaçament teòric, límit marcat per normativa, i el valor del desplaçament després de l'assaig. És clar, que quan aquest diferencia és negativa significa que es sobre passa el valor del límit i per tan que no és correcte

7. ANALISIS DELS RESULTATS OBTINGUTS

Si s'analitzen el resultats obtinguts en els casos argumentats en aquest projecte, es pot veure que les variacions que s'han introduït al sistema de vibració han sigut positives. El valor de l'error del desplaçament en una primera instància s'ha reduït en diferents parts de l'escombrat freqüencial, en condicions d'una acceleració inicial de 20m/s² que equival a una força de 2G.

A continuació, es mostra una comparativa entre valors resultants inicialment, les barres de color blau, i dels valors després de realitzar una millora en el sensor, que són les barres de color taronja. Cal recordar, que aquest valors són la diferencia respecte els valors límits del desplaçament segons el 5% de tolerància marcat per la norma.

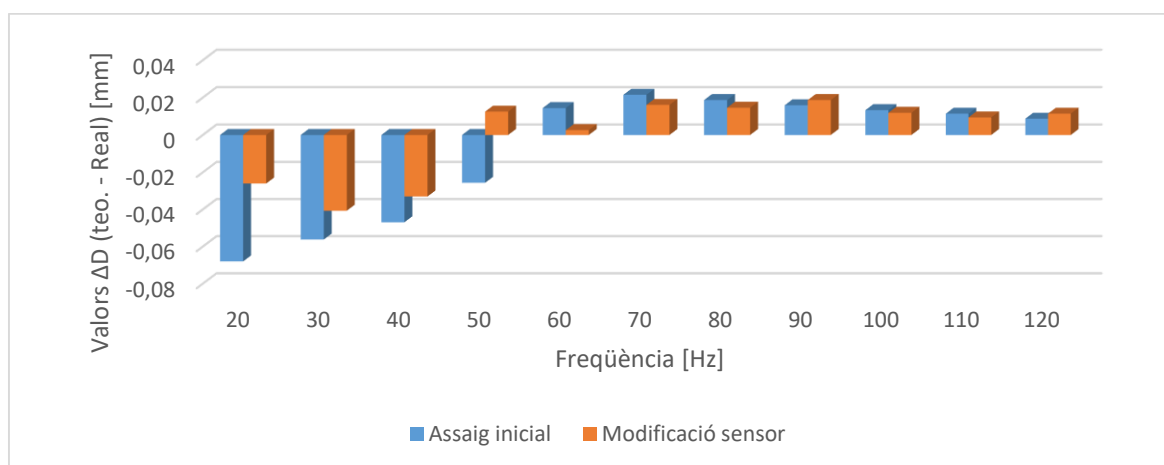


Figura 7.1. Figura gràfica de barres dels valors del desplaçament inicials i després de modificació del sensor

És necessari recordar, que per complir amb la norma i obtenir uns valors correctes, en la gràfica anterior de barres, durant tot l'escombrat de freqüències, les barres haurien d'anar de forma vertical positiva. És a dir, si es valoren els resultats que s'han obtingut inicialment, fins a 50Hz, les barres van per sota del 0 i això comporta que es sobrepassant els límits permesos.

Així que al realitzar la millora de la fixació del sensor i el canvi de piles del convertidor, s'ha produït una millora en les freqüències 20, 30 i 40Hz, ja que el valor es més proper a 0, i en la freqüència 50 Hz, ha passat a un valor positiu, i per tant complint la norma.

Si finalment, tot i que l'acceleració implementada al sistema de vibració és menor, si s'afegeix a la gràfica comparativa anterior, el resultat és el següent.

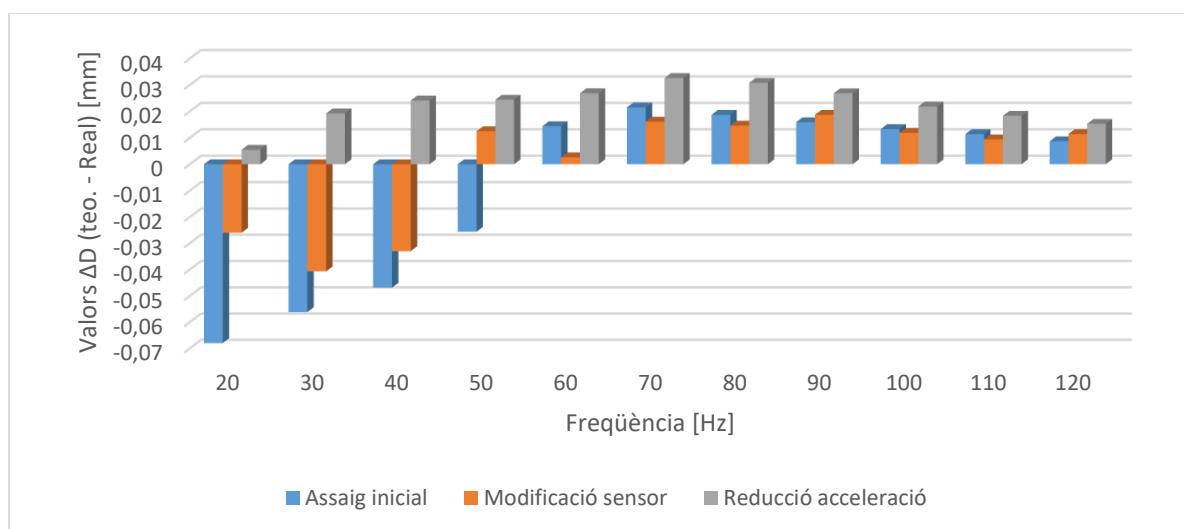


Figura 7.2. Figura gràfica de barres dels valors del desplaçament inicials, després de modificació del sensor i reducció de l'acceleració

A continuació, es visualitza una taula per poder valorar i visualitzar millor els valors dels errors en cadascun dels casos.

Taula 8. Resultats dels valors de desplaçament de l'assaig segon la norma.

Resultats			
f (Hz)	Dteo-DReal (mm) (*)		
	Inicial	Mod. Sensor	Red. Acceleració
20	-0,068	-0,026	0,0055
30	-0,0562	-0,0407	0,0192
40	-0,0469	-0,033	0,0241
50	-0,0256	0,0125	0,0244
60	0,0144	0,0026	0,0269
70	0,0215	0,0161	0,0326
80	0,0187	0,0146	0,0308
90	0,0159	0,0187	0,0269
100	0,0133	0,0119	0,0219
110	0,0114	0,0094	0,0183
120	0,0087	0,0114	0,0153

8. PRESSUPOST

A continuació, es recullen els costos econòmics principals que ha suposat la realització d'aquest projecte. Per a això s'ha tingut en compte que el projecte l'ha dut a terme un enginyer cobrant 12 € / h durant 150 dies laborals a mitja jornada i un becari cobrant 5€/h durant 30 dies a mitja jornada. En total ens dóna un resultat de 600 hores de treball, pel que fa l'enginyer, i de 120 hores de treball, pel que fa el becari. El resultat ha es mostra a la següent taula 9.

Taula 9. Pressupost total del projecte

PRESUPOST Material			
Article	Unitats	€/unitat	Total € (IVA incl.)
Cinta de doble cara (Velcro)	0,05	12,5	0,625
Piles Duracel ULTRA (9V)	4	7,25	29
			29,625
PRESUPOST Personal			
Empleat	hores	€/h	Total € (IVA incl.)
Becari	120	4	480
Enginyer	600	8	4800
			5280
PRESUPOST TOTAL			
PRESUPOST MATERIAL	29,63 €		
PRESUPOST PERSONAL	5.280 €		
TOTAL	5309,63 €		

El cost total per la realització d'aquest projecte són 5309,63 €, això comporta que és una possible solució molt més econòmica però tot i així les hores de dedicació d'un enginyer, per poder fer un estudi del problema del sistema de vibració, són molt elevades i comporta que el pressupost no es quedi molt per sota de la que els proveïdors dels equips comentaven inicialment per l'actualització del software.

9. CONCLUSIONS

Durant un període de gairebé 6 mesos, s'ha intentat cercar una millora en el funcionament del sistema de vibració que té CIRCUTOR SA en el seu laboratori. S'han valorat diferents opcions, on alguna d'elles per faltes de recursos no s'ha pogut tirar endavant, i per tant no s'ha implicat més temps.

L'objectiu del projecte era clar, intentar busca una opció per tal de que es complís la norma. Està clar que aquesta és molt ampla i es pot modificar o variar segons les especificacions particulars de cada client. Tot i així, sempre hi ha unes restriccions que s'han de complir.

En aquest cas, com a conclusió principal és que s'ha complert amb l'objectiu, com s'ha demostrat amb números i gràfiques en l'apartat anterior. S'ha aconseguit la realització d'assajos de vibració sinusoïdal complint amb els límits que marca la norma UNE-EN 60068-2-6. Cal esmentar també, que s'han complert les dates marcades en la planificació inicial i el projecte no ha patit ningun tipus de retràs. Tot i així, és clar que s'han invertit moltes hores i s'ha hagut de negociar i parla amb moltes persones.

Pel que fa la part més tècnica, ha calgut estudiar diferents parts del sistema de vibració i també baixar l'expectativa sobre les característiques tècniques del tipus d'assaig. Tot i així, per més endavant quan hi hagin més recursos, tan personals com econòmics per invertir, no es descarta l'opció mencionada en aquest projecte de desenvolupar un controlador PID extern per poder controlar la senyal que emet l'amplificador al Shaker i així ajustar-se automàticament per no superar els límits marcats.

Tot i rebaixar expectatives, el tipus d'assaig que es realitza actualment, aplicant una força G, fa que es tregui al mercat un producte molt vàlid i evita qualsevol problema mecànic a l'hora del seu transport o en el seu entorn de treball.

Per finalitzar, cal esmentar, que aquest projecte m'ha ajudat a endinsar-me molt més amb aquesta norma, aprendre a intentar desenvolupar solucions als problemes que puguin sorgir i a treballar en cert moments de forma molt autònoma. És clar, que també he hagut de contactar amb diferents persones per poder traslladar les meves possibles solucions o amb tècnics que també em poguessin donar un punt de vista diferent.

10. BIBLIOGRAFIA

Tota la informació extreta sobre els components i sobre assajos realitzats són confidencials ja que surten equips que encara no són al mercat, normes que tenen un cost i dades del propi servidor de l'empresa.

Per tant, només es pot fer referencia a la cerca d'informació via web :

- [1] <http://www.uco.es/RiesgosLaborales/fisicoyquimico/vibraciones/tutorials/view/5-Parametros-que-definen-una-vibracion>

- [2] <https://www.tira-gmbh.de/en/vibration-test-systems/amplifiers/analog-amplifiers/>

- [3] http://www.acoutronic.eu/pdf/vibration/system_tv_52120_eng.pdf

- [4] <https://acoutronic.se/pdf/vibration/tv5220-120.pdf>

- [5] http://www.retex.es/Downloads/prueba_vibr_choque_subracks_serie200.pdf

- [6] http://www.cylos.co.kr/html/images/2_5_3.pdf

- [7] <http://castor.det.uvigo.es:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/350/TFG%20Laura%20Rivas%20L%C3%B3pez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- [8] <https://www.luisllamas.es/teoria-de-control-en-arduino-el-controlador-pid/>

- [9] https://www.bt-ingenieros.com/bridas/3738-cinta-de-velcro-de-doble-cara-25-metros.html?gclid=EAlaIQobChMIwd6dno385gIVFp3VCh080w06EAAYASAAEgLOIPD_BwE